

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: Textilní materiály a zkušebnictví

### TAHOVÉ CHARAKTERISTIKY PLETENIN S OBSAHEM ČEDIČOVÝCH VLÁKEN

#### The tensile characteristic of knit with basalts fibers

Jitka Kratochvílová

KTM - 585

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Jana Salačová, Ph.D.

**Konzultant bakalářské práce:** Ing. Miroslava Maršálková, PhD.

**Rozsah práce:**

Počet stran textu... 61

Počet obrázků..... 37

Počet tabulek..... 15

Počet stran příloh . 21

Přílohové CD ..... 1

## P r o h l á š e n í

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum 10. 5. 2011

Podpis

## Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí bakalářské práce Ing. Janě Salačové, Ph.D. za spolupráci při tvorbě rešeršní části i za cenné rady a pomoc při zpracovávání experimentální části. Také bych chtěla poděkovat Ing. Miroslavě Maršálkové, PhD. za konzultace a poskytnutí mnoha užitečných informací pro experimentální část této práce. Mé poděkování patří Ing. Jitce Sitteové za její pomoc při výrobě vzorků pletenin. Velký dík patří Ing. Pavle Munzarové za pomoc při korekturách a za její čas, který mi věnovala při zpracovávání celé práce. Nemohu opomenout ani přítele, který mi byl po celou dobu neocenitelnou oporou.

## Abstrakt

Tato práce se zabývá základním rozbořem pletenin s obsahem čedičových vláken a popisem jejich struktury. Určuje typ pleteniny, materiálové složení, hustotu provázání, rozteč řádků a sloupků, spletení, stupeň spletení, délku nitě v očku, plošnou a objemovou hmotnost, tloušťku a pórovitost pletenin. Dále se zabývá testováním pevnosti v tahu. Pleteniny jsou vyrobeny z čedičových rovingů a z kombinace čedičových a kevlarových rovingů. Tyto textilie jsou používány jako výztuže při výrobě kompozitů

V rešeršní části jsou popsány základní pojmy týkající se plošných textilií a pletenin, jejich rozdělení, základních charakteristik, vlastností a jejich určování. Dále jsou zde uvedeny způsoby výroby a vlastnosti čedičových a kevlarových vláken. V poslední části jsou popsány mechanické vlastnosti – pevnost v tahu a její zkoušení. Všechny získané informace jsou potřebné ke konstrukci kompozitů, do kterých se zkoumané pleteniny využívají, a pro zlepšování jejich vlastností.

Experimentální část popisuje praktické provádění rozborů jednotlivých vlastností textilií a zkoušení těchto vlastností. Vyhodnocení výsledků je jak grafické tak slovní.

## Klíčová slova

pletenina, čedičová vlákna, kevlarová vlákna, hmotnost, tloušťka, pevnost



## **Abstract**

This thesis is about basic analysis of knits with basalt fibers and described their structure. The work is determined type of knit, material composition, density of interlacing, lines and posts spacing, enlacement, scale of enlacement, length of yarn in link, flat and volumetric of weight, thickness and porosity of knits. Next analysis is testing of tensile strength. The knits are made from basalt roving and from combination of basalt and Kevlar roving. These textiles are used like reinforcement for composites.

Basic term of textiles and knits are described in search part, their distribution, basic characteristics, properties and their determination. Techniques of production are stated next and properties for basalt and Kevlar fibers. Mechanical properties are described in the last part of search – tensile strength and testing of tensile strength. All obtained information are needed for construction of composites, in which the knits are used for improving properties of composites.

Experimental part is describing practical analysis of singular properties of textiles and testing of these properties. Results are described graphically and verbally.

## **Key words**

knit, basalt fibers, kevlar fibers, weight, thickness, strength

# Obsah

Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Klíčová slova .....	5
Abstract.....	6
Key words .....	6
Obsah .....	7
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	9
ÚVOD.....	11
1. REŠERŠNÍ ČÁST .....	12
1.1 Plošné textilie.....	12
1.1.1 Pletenina.....	12
1.1.1.1 Zátěžné pleteniny .....	13
1.1.1.1.1 Základní vazby zátěžných pletenin.....	13
1.1.1.2 Osnovní pleteniny .....	14
1.1.1.2.1 Základní vazby osnovních pletenin .....	14
1.2 Základní rozbor plošných textilií.....	15
1.2.1 Plošné textilie.....	15
1.2.1.1 Tloušťka plošné textilie .....	15
1.2.1.2 Plošná hmotnost textilie.....	15
1.2.1.3 Objemová měrná hmotnost.....	16
1.2.1.4 Materiálové složení.....	16
1.2.1.5 Pórovitost.....	16
1.2.1.5.1 Jednokomponentní textilie.....	16
1.2.1.5.2 Vícekomponentní textilie.....	17
1.2.2 Pletenina.....	17
1.2.2.1 Hustota provázání .....	17
1.2.2.2 Rozteč řádků a sloupků.....	18
1.2.2.3 Délka oka pleteniny .....	18
1.2.2.4 Koeficient hustoty.....	19
1.2.2.5 Spletení .....	20
1.2.2.6 Stupeň spletení.....	20
1.3 Textilní materiály.....	21
1.3.1 Čedičová vlákna.....	21
1.3.1.1 Výroba .....	22
1.3.1.2 Vlastnosti a použití .....	22
1.3.1.3 Bezpečnostní pravidla pro práci s čedičovými materiály .....	23
1.3.2 Kevlarová vlákna .....	24
1.3.2.1 Výroba .....	24
1.3.2.2 Vlastnosti a použití Kevlaru .....	25
1.3.2.3 Bezpečnostní pravidla pro práci s kevlarovými materiály.....	25
1.3.3 Souhrn vlastností čedičových a kevlarových vláken .....	26
1.4 Zkoušení mechanických vlastností plošných textilií .....	27
1.4.1 Pevnost plošných textilií v tahu .....	27
1.4.1.1.1 Absolutní pevnost v tahu .....	28
1.4.1.1.2 Relativní pevnost v tahu .....	28
1.4.1.1.3 Absolutní deformace.....	29
1.4.1.1.4 Relativní deformace - tažnost .....	29
1.4.1.1.5 Modul pružnosti.....	29

1.4.1.1.6 Deformační práce.....	30
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	31
2.1 Přístrojové a programové vybavení .....	32
2.2 Základní rozbor textilie.....	33
2.2.1 Struktura textilie .....	33
2.2.2 Materiálové složení.....	33
2.2.3 Hustota provázání, rozteč řádků a sloupků .....	34
2.2.4 Spletení, stupeň spletení .....	34
2.2.5 Délka nitě v očku, koeficient hustoty .....	34
2.3 Výroba vzorků .....	35
2.4 Základní vlastnosti pleteniny .....	37
2.4.1 Tloušťka.....	37
2.4.2 Hmotnost.....	39
2.4.3 Pórovitost .....	42
2.5 Pevnost v tahu .....	44
2.5.1 Pevnost v tahu .....	46
2.5.2 Tažnost.....	48
2.5.3 Modul pružnosti.....	50
3. Diskuze výsledků .....	53
4. ZÁVĚR .....	56
Literatura.....	57
Seznam obrázků.....	58
Seznam tabulek .....	59
Seznam příloh .....	60
A - Tabulky .....	60
B - Obrázky - grafy .....	60

## Seznam použitých zkratk a symbolů

ČSN.....	česká technická norma - všeobecně závazné národní normy
EN .....	evropská norma
ISO .....	mezinárodní organizace pro normalizaci
TUL.....	Technická univerzita v Liberci
Obr. ....	obrázek
Tab. ....	tabulka
např. ....	například
atd.....	a tak dále
apod. ....	a podobně
$\rho_s$ .....	plošná hmotnost [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
$m$ .....	hmotnost vzorku [kg]
$S$ .....	plocha vzorku [ $\text{m}^2$ ]
$l$ .....	délka vzorku [m]
$b$ .....	šířka vzorku [m]
$m$ .....	hmotnost plošné textilie [kg]
$V$ .....	objem plošné textilie [ $\text{m}^3$ ]
$S$ .....	plocha vzorku [ $\text{m}^2$ ]
$h$ .....	tloušťka textilie [m]
$\rho_{v/K}$ .....	hustota klimatizovaných vláken [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] (tabelované hodnoty)
$\rho_V$ .....	objemová měrná hmotnost textilie [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]
$\rho_{sm}$ .....	hustota směsového materiálu [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]
$\rho_{v/Kj}$ .....	hustota j-té komponenty klimatizovaných vláken [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]
$v_j$ .....	obsah j-té komponenty ve vlákenné směsi [%]
$H_c$ .....	hustota pleteniny [ok / $\text{m}^2$ ]
$H_s$ .....	hustota sloupků [ok / m]
$H_{\tilde{r}}$ .....	hustota řádků [ok / m]
$p$ .....	pórovitost [%]
$l_{OJ}$ .....	délky jehelního oblouku [m]
$l_S$ .....	délky stěny oka [m]
$l_O$ .....	délka oka pleteniny [m]
$d$ .....	průměr příze [m]

$T$ .....	jemnost příze [tex]
$\mu$ .....	zaplnění příze [-]
$\varepsilon_p$ .....	spletení pleteniny [-]
$K_p$ .....	stupeň spletení pletení
$\rho$ .....	hustota příze [kg.m <sup>-3</sup> ]
$l_{(j-1)}$ .....	délka nitě, která vstupuje do výrobního procesu [m]
$l_j$ .....	délka nitě ve textilií [m]
$l_{OP}$ .....	délky platinového obloučku [m]
$w$ .....	rozteč řádků [m]
$c$ .....	rozteč sloupků [m]
$\delta$ .....	koeficient hustoty pleteniny [-]
$F$ .....	absolutní pevnost [N]
$\sigma$ .....	relativní pevnost [Pa]
$f$ .....	relativní pevnost [N.tex <sup>-1</sup> ]
$l_0$ .....	upínací délka [m]
$\Delta l$ .....	absolutní deformace [m]
$\varepsilon$ .....	deformace [%]

## ÚVOD

Textilní materiály provázejí člověka od počátku jeho vývoje a to ve formě oděvů. Počátky lze nalézt v pravěku, kdy člověk měl potřebu chránit své tělo před nepříznivými klimatickými jevy. Nejprve bylo toto realizováno pomocí kožešin z ulovené zvěře. Postupně člověk přišel na způsob jak z chlupů kožešin vyrobit textilii. Se zdokonalováním techniky výroby textilií přichází i objevování nových výchozích surovin a jejich zpracování. Od srstí zvířat se propracoval ke zpracování rostlinných materiálů jako je bavlna či len. Vyspělejší civilizace dokázala zpracovávat hedvábí. Postupem času ztrácely textilie čistě ochrannou funkci a přidávaly se užité a estetické funkce. Textilie již nesloužily pouze k odívání, ale také k výrobě užitných a ozdobných předmětů. S tímto vývojem souvisí i vývoj zpracování vlákenných surovin. S rozšiřujícím se okruhem použití se zvyšovaly i nároky kladené na textilní materiály.

Se zvyšující se spotřebou textilních materiálů vzniká potřeba nalezení nových zdrojů. Do popředí se dostává práce chemiků a vývoj chemických vláken. Ve spolupráci s fyziky se objevují polymerní látky z přírodních zdrojů (např. viskóza, acetátová vlákna) nebo syntetických zdrojů (např. polyamid, polyester, polypropylen). Vyvíjí se také výroba vláken z nepolymerních, anorganických materiálů (skleněná, kovová, čedičová vlákna). Právě poslední zmiňované materiály se uplatňují v technických oblastech, které jsou budoucností textilního průmyslu v celosvětovém měřítku.

Při výrobě technických textilií vzrůstá v posledních letech zájem o čedičová vlákna a to hlavně díky možnosti jejich použití v širokém teplotním rozmezí. Samotná čedičová vlákna jsou sice křehká, ale při zpracování do textilie vzniká pevná struktura. Často se tyto textile používají jako výztuže do kompozitů. A právě kompozitní materiály procházejí v dnešní době velkým vývojem a jsou předmětem mnohých výzkumů.

Tato práce popisuje vlastnosti a strukturu pletenin s obsahem čedičových vláken. Dále se zabývá mechanickými vlastnostmi a to pevností v tahu. Znalost vlastností a struktury těchto pletenin je nezbytná z hlediska jejich dalšího využití jako výztuží do kompozitů a pro zlepšování jejich vlastností.

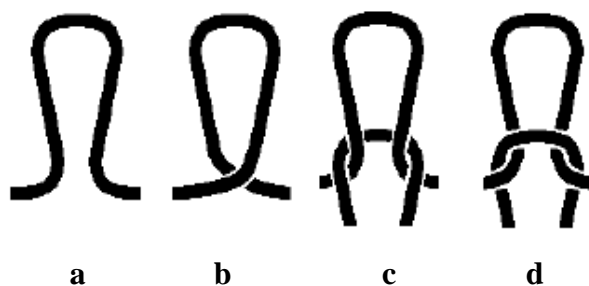
# 1. REŠERŠNÍ ČÁST

## 1.1 PLOŠNÉ TEXTILIE

Textilie jsou objekty tvořené provázáním přízí. Plošná textilie, je textilie, která má řádově menší tloušťku nežli šířku a délku. Může být vyrobena technologií tkaní, pletení nebo jako netkaná textilie. Některé z netkaných textilií se již mohou řadit do prostorových textilií, díky svojí větší tloušťce.

### 1.1.1 Pletenina

Pletenina je plošná textilie vznikající propletením jedné nebo více soustav nití. Podle způsobu provázání soustavy nití se rozděluje na osnovní a zátažné. Pletenina se skládá z oček, které vznikají provléknutím kliček. Jestliže se klička protáhne předcházejícím očekem zezadu dopředu, vznikne lícní oko, obdobě pak vzniká rubní oko. V pletenině rozeznáváme sloupky což jsou vzájemně provázaná oka uspořádaná nad sebou a řádky, které tvoří oka ležící vedle sebe. Pleteniny vznikají na pletacích strojích, které se dají rozdělit z mnoha hledisek, například podle vznikajícího druhu pleteniny (osnovní, zátažné), podle použitých jehel (jazýčkové, háčkové, duté), podle počtu lůžek ve kterých jsou uloženy jehly (jedno a dvoulůžkové), podle tvaru lůžek (ploché a okrouhlé), dle pracovních ústrojí (platiny, zámky, lisy) [1].



*Obr. 1 Základní strukturální prvky pletenin [1]*

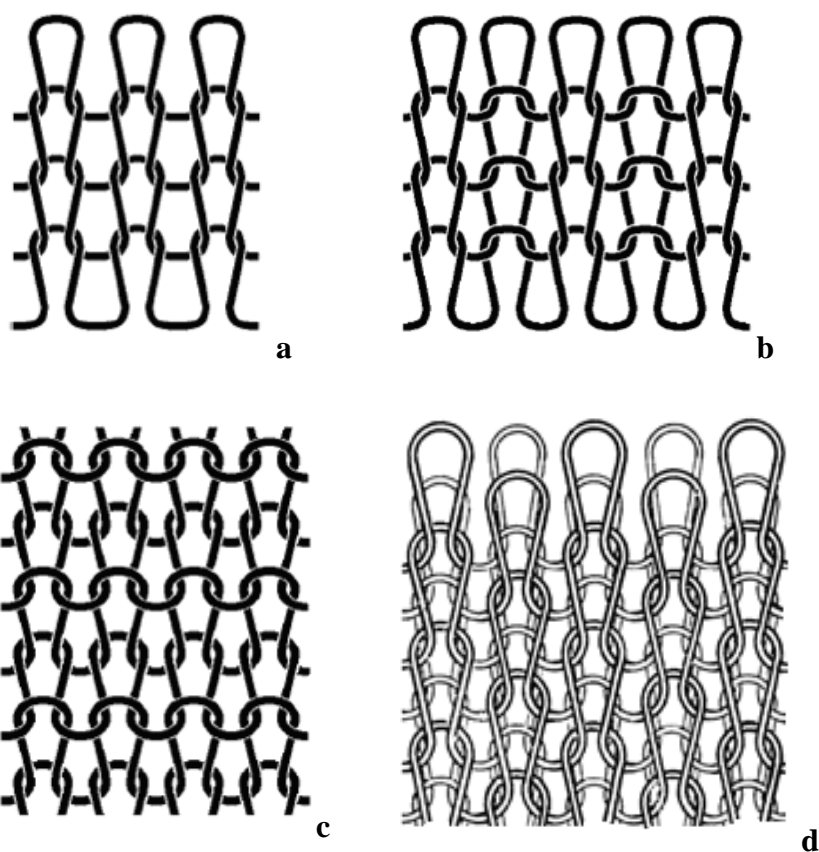
*a) otevřená klička b) uzavřená klička, c) lícní oko, d) rubní oko*

### 1.1.1.1 Zátěžné pleteniny

Základní zátěžné pleteniny vznikají z jedné nitě. Nit je vedena ve směru řádků. Kromě základních vazeb se v nich uplatňuje mnoho vzorovacích prvků, například chytové kličky, podložené kličky, chybějící očka, převěšování oček, doplňkové nitě.

#### 1.1.1.1.1 Základní vazby zátěžných pletenin

- a) jednolící – má nejmenší střidu (jediné očko)
- b) oboulící – ve vazbě se pravidelně střídají lícní a rubní sloupky
- c) obourubní – střídání lícních a rubních řádků
- d) interlokové – vzniká prostoupením dvou oboulících pletenin



*Obr. 2 Základní vazby zátěžných pletenin [1, 2]*

*a) jednolící, b) oboulící, c) obourubní, d) interloková*

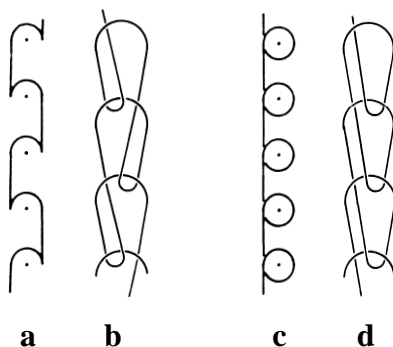


### 1.1.1.2 Osnovní pleteniny

Osnovní pletenina vzniká ze soustavy nití, která by se dala přirovnat k osnově při tkaní. Vedení nití je mnohem komplikovanější než u zátažných pletenin a to zvyšuje variabilitu vlastností těchto pletenin. Níť jsou vedeny ve směru sloupků a postupně přecházejí z prvního řádku do druhého, třetího atd.. Zároveň mohou vytvářet různé vazební prvky v různých sloupcích pleteniny [1]. U osnovních pletenin je stejný typ vzorovacích prvků jako u zátažných pletenin rozšířený o možnost otevřeného či uzavřeného kladení, kladení pod jehlami, stejnosměrné nebo protisměrné kladení.

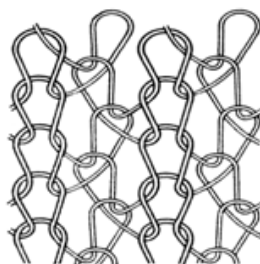
#### 1.1.1.2.1 Základní vazby osnovních pletenin

- jednolící – řetízek, trikot, sukno, satén, atlas
- oboulící



*Obr. 3 Jednolící pletenina s přímým kladením- řetízek [2]*

*a) kladení na jehly, b) otevřený řetízek, c) kladení na jehly, d) uzavřený řetízek*



*Obr. 4 Osnovní oboulící pletenina [2]*

## 1.2 ZÁKLADNÍ ROZBOR PLOŠNÝCH TEXTILIÍ

Struktura textilie závisí především na použité vazbě. Plošná textilie je definována tloušťkou textilie, plošnou hmotností, objemovou hmotností a pórovitostí. Pro pleteniny se stanovuje hustota provázání, rozteč řádků a sloupků a délka nitě v očku. Dále se určuje spletení z této charakteristiky vychází stupeň spletení.

### 1.2.1 Plošné textilie

#### 1.2.1.1 Tloušťka plošné textilie

Můžeme ji definovat jako kolmou vzdálenost mezi lícem a rubem textilie. K měření tloušťky textilií se používají tloušťkoměry. Principem je měření vzdálenosti mezi dvěma čelistmi, mezi kterými je umístěna textilie [3]. Protože je textilie materiál snadno deformovatelný (stlačitelný), je měření tloušťky textilie stanoveno normou ČSN EN ISO 5084. Tato norma stanovuje plochu čelistí, přítlak a délku měření pro různé typy textilií.

#### 1.2.1.2 Plošná hmotnost textilie

Plošnou hmotnost vypočteme jako podíl hmotnosti vzorku a plochy vzorku.

$$\rho_s = \frac{m}{S} = \frac{m}{l \cdot b} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (1)$$

$\rho_s$  - plošná hmotnost [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$m$  - hmotnost vzorku [kg]

$S$  - plocha vzorku [ $\text{m}^2$ ]

$l$  - délka vzorku [m]

$b$  - šířka vzorku [m]

### 1.2.1.3 Objemová měrná hmotnost

Objemová měrná hmotnost je definována jako hmotnost 1 m<sup>3</sup> plošné textilie. Podle fyzikální definice je takto označena hustota  $\rho$  [kg.m<sup>-3</sup>], protože je tento pojem zároveň používán i v jiných souvislostech (například u pletenin) byl zaveden pojem objemová měrná hmotnost  $\rho_v$  [kg.m<sup>-3</sup>] [3]. Tato veličina je dána vztahem (2).

$$\rho_v = \frac{m}{V} = \frac{m}{S h} = \frac{\rho_s}{h} \quad [\text{kg.m}^{-3}] \quad (2)$$

*m* - hmotnost plošné textilie [kg]

*V* - objem plošné textilie [m<sup>3</sup>]

*S* – plocha vzorku [m<sup>2</sup>]

*h* – tloušťka textilie [m]

### 1.2.1.4 Materiálové složení

Zjištění materiálového složení se provádí z rozvlákněných přízí osnovy i útku, přípravou preparátu a identifikací pomocí optické zkoušky. Další možností zjištění složení je např. spalovací zkouška nebo identifikace dle teploty měknutí materiálu.

### 1.2.1.5 Pórovitost

Pórovitost *p* lze popsat jako obsah pórů naplněných vzduchem textilie. Vzorec pro výpočet se liší dle materiálového složení, tedy množství použitých materiálů (komponent) v přízi, ze kterých je textilie vyrobena.

#### 1.2.1.5.1 Jednokomponentní textilie

$$p = \frac{\rho_{vIK} - \rho_v}{\rho_{vIK}} 10^2 \quad [\%] \quad (3)$$

$\rho_{vIK}$  - hustota klimatizovaných vláken [kg.m<sup>-3</sup>] (tabelované hodnoty)

$\rho_v$  - objemová měrná hmotnost textilie [kg.m<sup>-3</sup>]

### 1.2.1.5.2 Vícekomponentní textilie

U vícekomponentních materiálů je nejprve potřeba vypočítat hustotu směsového materiálu dle vzorce (4).

$$\rho_{sm} = \frac{1}{10^2} \sum_{j=1}^k \rho_{vlKj} \cdot v_j \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (4)$$

$\rho_{sm}$  - hustota směsi  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

$\rho_{vlKj}$  - hustota  $j$ -té komponenty klimatizovaných vláken  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

$v_j$  - obsah  $j$ -té komponenty ve vlákenné směsi  $[\%]$

Poté lze vypočítat pórovitost dle upraveného vzorce (3), kde je hustota klimatizovaných vláken nahrazena hustotou směsového materiálu.

$$p = \frac{\rho_{sm} - \rho_v}{\rho_{sm}} \cdot 10^2 \quad [\%] \quad (5)$$

$\rho_{sm}$  - hustota směsového materiálu  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

$\rho_v$  - objemová měrná hmotnost textilie  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

## 1.2.2 Pletenina

### 1.2.2.1 Hustota provázání

Hustota provázání pleteniny  $H_c$  se vypočte jako součin hustoty sloupků a řádku. Tyto hodnoty odpovídají počtu ok v příslušném směru na 100 mm pleteniny.

$$H_c = H_s \cdot H_{\bar{r}} \quad [\text{ok} / \text{m}^2] \quad (6)$$

$H_s$  - hustota sloupků  $[\text{ok} / \text{m}]$

$H_{\bar{r}}$  - hustota řádků  $[\text{ok} / \text{m}]$

### 1.2.2.2 Rozteč řádků a sloupků

Rozteč řádků  $c$  vyjadřuje výšku jednotlivých řádků a lze ji definovat jako převrácenou hodnotu hustoty řádků  $H_r$ . Analogicky rozteč sloupků  $w$  udává šířku jednotlivých sloupků a lze ji definovat jako převrácenou hodnotu hustoty sloupců  $H_s$ .

$$w = \frac{1}{H_s} \quad [m] \quad (7)$$

$$c = \frac{1}{H_r} \quad [m] \quad (8)$$

### 1.2.2.3 Délka oka pleteniny

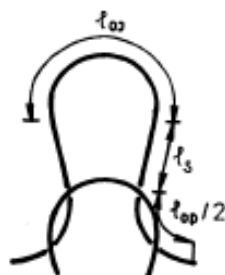
Přibližné stanovení lze provést vypáráním 10 oček pleteniny a změřením délky vypárané nitě s následným přepočtem na délku jednoho oka. Pro přesnější zjištění délky oka  $l_o$  se v praxi většinou využívá projekce, ale můžeme použít také např. obrazovou analýzu.

$$l_o = l_{oj} + 2 \cdot l_s + 2 \cdot \left( \frac{1}{2} l_{op} \right) \quad [m] \quad (9)$$

$l_{oj}$  - délky jehelního oblouku [m]

$l_s$  - délky stěny oka [m]

$l_{op}$  - délky platinového obloučku [m]



Obr. 5 Délka oka pleteniny. [3]

Délku nitě v očku lze také přibližně stanovit dle vztahu (10), který vychází z geometrického modelu oka pleteniny tzv. Dalidovičova modelu. Tento model předpokládá neměnný průměr nitě, stěny oček jsou definovány jako úsečky a jehelní a platinové obloučky jsou nahrazeny půlkružnicemi. Tento vztah lze použít pro průměrně hustou pleteninu, ve které se sousední nitě dotýkají pouze ve vazných bodech vnitřními plochami platinových obloučků [1].

$$l_o = \frac{\pi}{2} w + \pi d + 2 c \quad [m] \quad (10)$$

$w$  – rozteč řádků [m]

$c$  – rozteč sloupků [m]

$d$  – průměr nitě [m]

#### 1.2.2.4 Koeficient hustoty

Koeficient hustoty pleteniny lze vypočítat ze vztahu (11).

$$\delta = \frac{l_o}{d} \quad [-] \quad (11)$$

$l_o$  – délka oka pleteniny [m]

$d$  – průměr příze [m]

Pro výpočet tohoto koeficientu je potřeba znát průměr nitě  $d$ , který můžeme vypočítat dle vzorce (12).

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot T}{\pi \cdot \mu \cdot \rho}} \quad [m] \quad (12)$$

$T$  – jemnost příze [Tex]

$\mu$  – zaplnění příze [-]

$\rho$  – hustota příze [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

### 1.2.2.5 Spletení

Vyjadřuje relativní zkrácení nitě pletením [3]. Spletení je zapříčiněno zvlněním nití díky jejich vzájemnému provázání. Toto zvlnění zkracuje původní délku nitě v textilií. Principem stanovení je vypárání nitě ze 100 mm textilie a změření její délky.

$$\varepsilon_p = \frac{l_{(j-1)} - l_j}{l_{(j-1)}} \cdot 10^2 \quad [\%] \quad (13)$$

$l_{(j-1)}$  – délka nitě, která vstupuje do výrobního procesu [m]

$l_j$  – délka nitě ve textilií [m]

### 1.2.2.6 Stupeň spletení

Ze spletení vychází stupeň spletení. Tato hodnota je bezrozměrná, je vyjádřena jako poměr délek.

$$K_p = \frac{l_j}{l_{(j-1)}} \quad [-] \quad (14)$$

$l_{(j-1)}$  – délka nitě, která vstupuje do výrobního procesu [m]

$l_j$  – délka nitě ve tkanině [m]

## 1.3 TEXTILNÍ MATERIÁLY

### 1.3.1 Čedičová vlákna

Čedičová vlákna jsou vlákna nepolymerní (anorganická) minerální vlákna. Čedič je v podstatě ztuhlá láva některých sopek, podle oblasti původu se liší jeho kvalita. Charakteristickou vlastností čediče je tvorba pěti hranných až šesti hranných pravidelných sloupců viz Obr. 6.



Obr. 6 Čedičové „varhany“ u Kamenického Šenova [4]

Při rychlém chlazení lávy vzniká sklovitá, přibližně amorfní struktura (nekrystalická, nemající pravidelnou strukturu), pomalým chlazením vzniká krystalická struktura směsi minerálů [5].

Hlavními složkami čediče jsou:

- oxid křemičitý  $\text{SiO}_2$  (optimální rozmezí 43,3–47 %)
- oxid hlinitý  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (optimální rozmezí 11–13 %)
- oxid vápenatý  $\text{CaO}$  (optimální rozmezí 10–12 %)
- oxid manganatý  $\text{MgO}$  (optimální rozmezí 8–11 %) [5]

Podle obsahu oxidu křemičitého  $\text{SiO}_2$  se čediče rozdělují do tří skupin:

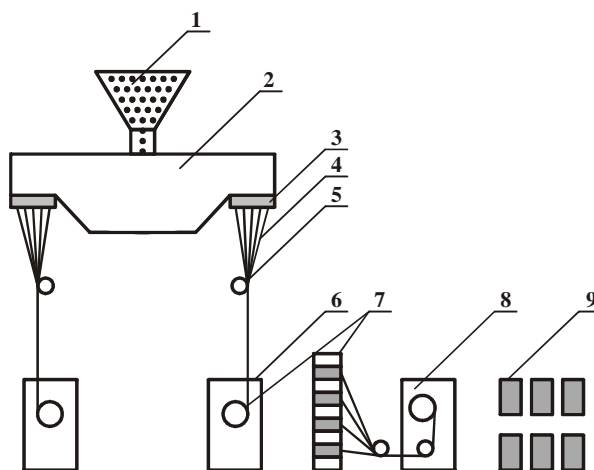
- alkalické čediče s obsahem  $\text{SiO}_2$  do 42%
- slabě kyselé čediče s obsahem  $\text{SiO}_2$  43 - 46%
- kyselé čediče s obsahem  $\text{SiO}_2$  nad 46% [6]



### 1.3.1.1 Výroba

K výrobě vláken se používají kyselé čediče, které obsahují neoptimálnější poměr jednotlivých složek. Vlákná se vyrábějí tavným zvlákňováním při teplotách 1500–1700 °C a dále mohou být dlužena při teplotách kolem 1300°C [5].

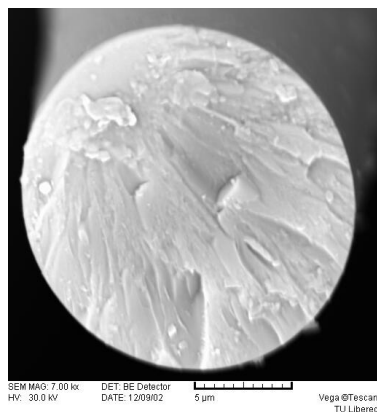
Čedičový materiál je rozdrčen na části o velikosti 5 ~ 20 mm a umístěn v zásobníku (1) odkud je dávkován do tavicí pece (2) kde je roztaven a prochází zvlákňovacími otvory (3). Vznikají tak vlákna o průměru 9 – 15 μm (4), která procházejí přes maznici (5) a jsou navíjena v navíjecím zařízení (6) na cívky (7), z těchto cívek mohou být vlákna dále převíjena (8) a ukládána na cívečnici (9).



Obr. 7 Schéma výroby čedičových vláken [8]

### 1.3.1.2 Vlastnosti a použití

Čedičová vlákna jsou stabilnější v silně alkalickém prostředí než např. skleněná vlákna, ale stabilita v kyselém prostředí je nižší. Čedičové výrobky se mohou použít od velmi nízkých teplot (kolem -200 °C) až do poměrně vysokých teplot 700–800 °C. Při teplotách nad 300°C dochází ke snížení pevnosti díky vzniku krystalické struktury [7]. Pokud vlákno praskne, je na příčném řezu patrný křehký lom (viz Obr. 8) způsobený heterogenitami struktury (křehký lom je iniciován trhlinou nebo defektem, kde se koncentruje napětí, to má za následek růst trhliny a vznik dalších trhlin způsobujících lom vlákna).



*Obr. 8 Lomová plocha čedičového vlákna*

Čedičová vlákna a textilie z nich zhotovených se využívá ve všech oblastech, kde se běžně dosud používají skleněná a dřívě používala azbestová vlákna. Využívají se ve formě tkanin jako výztuže do kompozitů. Ve stavebnictví se používají ve formě síťovin do omítkových systémů. Díky svým tepelným vlastnostem nachází čedič využití v izolacích, kde je vyžadována odolnost proti velkým teplotním změnám. Čedičová vlákna se také používají při výrobě interiérových nehořlavých textilií.

### 1.3.1.3 Bezpečnostní pravidla pro práci s čedičovými materiály

Všeobecně, při možnosti uvolňování většího množství drobných částic, je doporučováno použít ochranný oděv s dlouhými rukávy a respirační roušky.

Podle dosavadních poznatků je čedičový materiál při běžném styku zdravotně nezávadný. Čedič je chemicky stálý a je určený pro technické použití. Ze základního materiálu se samovolně neuvolňují žádné škodlivé látky.

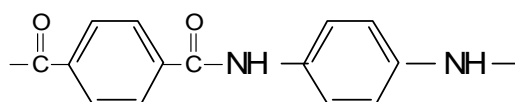
Při manipulaci je nutno dodržovat základní hygienické předpisy. Čedičová vlákna vyráběná ve formě nekonečných vláken nejsou zdraví škodlivá. Při poškození vláken může dojít k mechanickému podráždění pokožky, očí i horních cest dýchacích. Podrážděná pokožka se doporučuje omýt studenou vodou a ošetřit běžnými krémy.

Čedičová vlákna ve formě nekonečných vláken mají průměr 9-12  $\mu\text{m}$ , tento průměr se již, ani při poškození vlákna, nezmenšuje. Obecně se uvádí, že vlákna se stávají nebezpečnými, když jsou vdechována hluboko do plic, a to se děje u vláken s menším průměrem než 3  $\mu\text{m}$  [10].

### 1.3.2 Kevlarová vlákna

Kevlarová vlákna se řadí mezi polymerní vlákna. Kevlar je nejznámější aramidové (aromatické polyamidy) vlákno firmy DuPont. Využití nachází v oblastech, kde je požadována mimořádně vysoká pevnost a tepelná odolnost.

Molekulární vzorec Kevlaru je  $[-\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-\text{NH}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}-]_n$ , poly-para-phenylentereftalamid (PPD-T) [7].

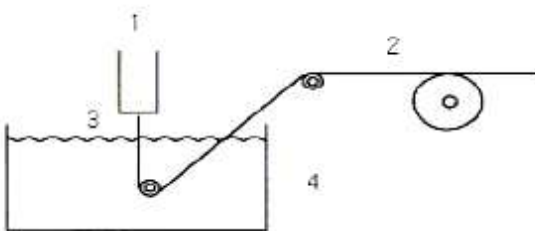


Obr. 9 Strukturální vzorec Kevlaru [7]

#### 1.3.2.1 Výroba

Velká část aromatických polymerů degraduje již při teplotě rozkladu  $T_r$  před dosažením teploty tání  $T_m$ , takže vlákna lze zvláknovat pouze z roztoků, obsahujících silná organická rozpouštědla nebo koncentrované anorganické kyseliny.

Kevlarová vlákna se vyrábějí zvláknováním z roztoku metodou „dry-jet-wet“ viz Obr. 10. Zvláknuje nejdříve do vzduchu (díky cca 1cm mezeře mezi tryskou a lázní), kde dochází k průtahu a poté vlákno pokračuje do koagulační lázně. Vlákna se vyrábějí z 10–20 % roztoku polymeru v kyselině sírové  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , neobsahující vodu, zahřátý na  $80^\circ\text{C}$ . Při výrobě se musí dbát na čistotu zvláknovací lázně obsahující studenou vodu [5, 7].



Obr. 10 Schéma výroby kevlarových vláken (metoda „dry-jet-wet“) [7]

(1) zásobník zvláknovacího roztoku, (2) dloužení, (3) vzduchová mezera, (4) srážecí vana

### 1.3.2.2 Vlastnosti a použití Kevlaru

Vlastnosti kevlarových vláken lze měnit různými podmínkami při dloužení a tepelném zpracování. Vlákná jsou obtížně barvitelná, barvit je lze vybranými kationtovými barvivami, zlepšení lze pozorovat při předpracování v kapalném amoniaku  $\text{NH}_3$ .

V kombinaci s Nomexem se využívá v ochranných pomůckách pro hasiče. Používá se při výrobě rukavic a ochranných oděvů, např. pro práci s ostrými předměty. Schopnost plasticky se deformovat při působení síly kolmo na osu vlákna se zlepšuje odolnost vůči střelám a střepinám, což je využíváno při výrobě neprůstřelných vest. Nahrazuje se jím azbest. Využití nachází v leteckém průmyslu, kde se používá např. v interiérech nebo při výrobě některých částí plášťů letadel. Díky vysoké pevnosti se z něj vyrábějí lana a popruhy.

K nevýhodám patří malá odolnost proti vlhku a ultrafialovému záření, proto se zřídka používá v outdoorových aplikacích bez ochrany před slunečním světlem.

### 1.3.2.3 Bezpečnostní pravidla pro práci s kevlarovými materiály

Z tohoto materiálu nevyplývají žádná přímá rizika. Všeobecně, při možnosti uvolňování většího množství drobných částic, je doporučováno použít ochranný oděv s dlouhými rukávy a respirační roušky. Možné nebezpečí je spojené především s jeho zpracováním, při kterém se může uvolnit prach a respirabilní (vdechovatelná) částí vláken. Shodně jako u čedičových vláken nedosahuje průměr kevlarových vláken rizikového průměru. Dlouhodobé vdechování vlákenných částic pochopitelně může vést k poškození plic. Vysoká koncentrace prachu může dráždit oči, nos a dýchací systém a způsobit kašel a kýčání. Také kůže může být přechodně mírně podrážděná se zarudnutí nebo svěděním. Po kontaktu s kůží se doporučuje stejný postup jako u čedičových materiálů [11].

### 1.3.3 Souhrn vlastností čedičových a kevlarových vláken

Tab. 1 obsahuje shrnutí charakteristických vlastností čedičových a kevlarových vláken.

*Tab. 1 Vlastnosti kevlarových a čedičových vláken [5, 6, 7,9]*

	čedič	Kevlar
tažnost	2%	3,6 %
pevnost v tahu [GPa]	1,1-1,5 GPa	3,6 GPa
průměr vláken d [μm]	9–12 μm	11,8 μm
hustota – měrná hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	2600-2800 kg.m <sup>-3</sup>	1400 kg.m <sup>-3</sup>
navlhavost [%]	0,5%	4-6%
modul pružnosti E [GPa]	89 GPa	80 GPa

## 1.4 ZKOUŠENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ PLOŠNÝCH TEXTILIÍ

Nejčastěji prováděnými zkouškami mechanických vlastností jsou pevnost v tahu, pevnost v natržení a dalším trhání a pevnost v protržení. Pevnost v pronikání hrotů a pevnost v protlaku kuličkou jsou zkouškami převážně pro technické textilie a geotextilie. Pro nábytkářské potahové textilie jsou prováděny simulační zkoušky cyklického vtlačování kulového vrchlíku. Tento test stanoví úroveň trvalých (plastických) deformací při běžném užívání textilie [3].

Působení vnějších sil na textílii popisují mechanické vlastnosti celého materiálu. V hotových výrobcích se mechanická namáhání plošných textilií odehrávají v oblasti malých deformací [3]. V praxi dochází málokdy k takovému namáhání, které by znamenalo porušení plošné textilie.

### 1.4.1 Pevnost plošných textilií v tahu

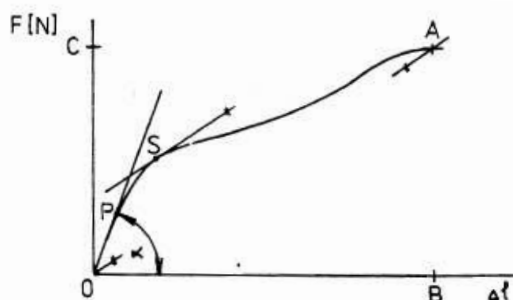
Pevností v tahu nazýváme odezvu materiálu při namáhání materiálu. Tato zkouška se provádí na dynamometru. Zkouška je destruktivní (dochází k přetržení vzorku) a je dána normou ČSN EN ISO 13934-1. Vzorky se zkouší ve dvou na sobě kolmých směrech. U tkanin ve směru osnovy a útku, u pletenin ve směru sloupku a řádku. Norma udává tvar vzorku a jeho přesné rozměry, upínací délku vzorků, předpětí vzorku.

U tkanin a pletenin jsou výsledné tvary křivek pevnosti a tažnosti odlišné. Tkanina bývá pevnější, má strmější křivku a menší tažnost. Pletenina mívá nižší pevnost, větší tažnost a křivku pozvolněji stoupající. Tahové křivky se také liší v obou na sebe kolmých směrech zkoušené plošné textilie. Tento jev se nazývá anizotropie. [3]

Pevnost v tahu je popisována charakteristikami:

- pevnost  $F$  [N]
- napětí do přetrhu  $\sigma$  [Pa] nebo relativní pevnost v tahu  $f$  [N.tex<sup>-1</sup>]
- absolutní deformace  $\Delta l$  [mm] nebo tažnost (relativní deformace)  $\varepsilon$  [%]
- práce  $W$  [J]

Grafickým znázorněním této zkoušky je závislost síly  $F$  [N] na deformaci  $\Delta l$  [mm] viz Obr. 11.



Obr. 11 Deformační křivka [3]

Ze zobrazené křivky lze vyčíst charakteristické části:

- 0 .....počátek
- 0-P...oblast pružných (elastických) deformací
- P .....mez pružnosti – nad tímto bodem se projevují plastické deformace
- S .....počátek kluzu
- A.....maximální síla
- B.....přetrh

#### 1.4.1.1.1 Absolutní pevnost v tahu

Absolutní pevnost v tahu je definována jako síla  $F$  [N] potřebná k přetržení vzorku.

#### 1.4.1.1.2 Relativní pevnost v tahu

U materiálů u nichž lze stanovit plochu průřezu je stanovena jako napětí  $\sigma$  [Pa].

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad [\text{Pa}] \quad (15)$$

$F$  – absolutní pevnost [N]

$S$  – plocha průřezu vzorku [ $\text{m}^2$ ]

Absolutní pevnost vztažená na délkovou hmotnost  $T$  [tex], využívaná pro textilní materiály, je označována jako měrná pevnost  $f$  [N.tex<sup>-1</sup>].

$$f = \frac{F}{T} \text{ [N.tex}^{-1}\text{]} \quad (16)$$

$F$  – absolutní pevnost [N]

$T$  – délková jemnost [tex]

#### 1.4.1.1.3 Absolutní deformace

Udává prodloužení vzorku vlivem působící síly.

$$\Delta l = l - l_0 \text{ [mm]} \quad (17)$$

$l$  – délka vzorku [mm]

$l_0$  – upínací délka [mm]

#### 1.4.1.1.4 Relativní deformace - tažnost

Vyjadřuje se jako poměrné prodloužení  $\varepsilon$  [%].

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} 10^2 \text{ [%]} \quad (18)$$

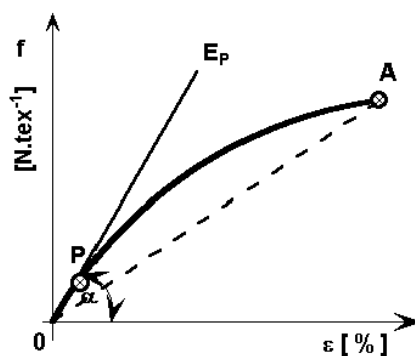
$l$  – délka vzorku [mm]

$l_0$  – upínací délka [mm]

#### 1.4.1.1.5 Modul pružnosti

Nejčastěji se používá tangentový modul pružnosti  $E_T$  [N.tex<sup>-1</sup>], který vychází ze sestrojení tečny ke křivce v počátku. Bod  $P$ , kde tečna opouští křivku je definován jako mez pružnosti viz Obr 12.





Obr. 12 Konstrukce tečny k deformační křivce v jejím počátku [3]

Tangentový modul pružnosti  $E_T$  [N.tex<sup>-1</sup>].

$$E_T = \frac{f_P}{\varepsilon_P} \quad [\text{N.tex}^{-1}] \quad (19)$$

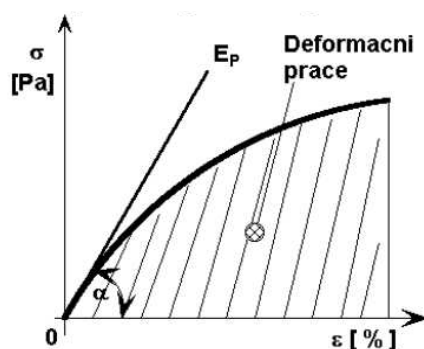
$f_P$  – měrná pevnost v bodě P [N.tex<sup>-1</sup>]

$\varepsilon_P$  – deformace v bodě P [%]

#### 1.4.1.1.6 Deformační práce

Je definována jako práce potřebná k přetržení vzorku a lze ji vyjádřit jako obsah plochy pod deformační křivkou.

$$A = \int_0^1 F \cdot dl \quad [J] \quad (20)$$



Obr. 13 Deformační práce [3]

## 2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část se zabývá zkoušením vlastností čedičových a čedičokevlarových pletenin. Rozbory a zkoušky byly prováděny dle platných Českých technických norem (ČSN) a za podmínek v nich stanovených. Pro statistické zpracování dat byly používány informace z literatury [12].

Počáteční experiment proběhl na pleteninách zhotovených v rámci projektu zabývajícím se kompozitními materiály realizovaném na KTM. Bylo na nich stanoven:

- struktura pleteniny
- materiálové složení
- hustota provázání
- rozteč řádků a sloupků
- spletení, stupeň spletení
- délka nitě v očku

Dále byly, dle parametrů zjištěných při počátečním experimentu, vyrobeny vzorky vlastní. Tyto vzorky byly vyráběny z důvodu potřeby dodržet normou definované rozměry vzorků pro testování pevnosti v tahu. Z původně poskytnutých materiálů nebylo možné připravit vzorky předepsaných rozměrů. Při pokusech o přípravu vzorků bylo první komplikací samotné použití nůžek. Ke stříhání bylo nutné použít speciální nůžky pro stříhání kevlaru. Dále se projevil problém, že jakýkoliv mechanický zásah do struktury pleteniny je pro ni plně destruktivní. Pletenina se začala okamžitě rozplétat na rovingy, z nichž byla vyrobena viz Obr. 14.



*Obr. 14 Destrukce struktury pleteniny po mechanickém zásahu (stříhání)*

Jakékoliv pokusy o zajištění či zpevnění by zapříčinily nepřesnost měření, jelikož by se jednalo o těžko definovatelné přidání materiálů, např. zajištění okrajů rovingů přízí či zafixování vzorků lepící páskou.

Na vyrobených vzorcích byly provedeny zkoušky, jejichž výsledkem byly hodnoty:

- tloušťka
- hmotnost – plošná, objemová
- pórovitost
- pevnost v tahu
- tažnost
- modul pružnosti

## 2.1 PŘÍSTROJOVÉ A PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

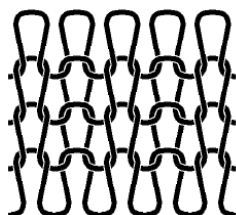
Ke zpracování experimentální části byly použity přístroje a programy:

- mechanický dvoulůžkový pletací stroj VebElite Diamant typ 54811
- analytické váhy SARTORIUS PRO 13/17/23/27T
- nůžky na kevlar
- dynamometr TIRA test 2300
- tloušťkoměr UNI-THICKNESS-METER FF27
- systém obrazové analýzy LUCIA - kamera BASLER, videomakroskop NAVITAR
- digitální fotoaparát Nikon D60
- počítač Intel(R) Core (TM)2 CPU 6300, 1,87 GHz, 1,99 GB RAM
- Microsoft Windows XP Professional 2002, SP 2
- Microsoft Office Excel 2003
- Microsoft Office Word 2003
- Matlab verze 7.0.1.24704
- software obrazové analýzy Lucia – NIS-Elements

## 2.2 ZÁKLADNÍ ROZBOR TEXTILIE

### 2.2.1 Struktura textilie

Byl proveden rozbor struktury pleteniny, bylo zjištěno, že oba druhy textilií byly vyrobeny metodou pletení ve vazbě zátažné oboulícní. Pleteniny již byly plně relaxované, což znamená, že od jejich výroby uplynula dostatečná doba na to, aby vnitřní deformační energie dosáhla minima.



Obr. 15 Zátažná oboulícní pletenina [1]

### 2.2.2 Materiálové složení

Při výrobě pletenin byly použity čedičový roving od firmy Kamenny Vek a kevlarový roving firmy DuPont. V Tab. 2 jsou uvedeny informace o materiálech od výrobců.

Tab. 2 Informace o materiálech od výrobců

	jemnost $T$ [tex]	síla $F$ [N]	tažnost $\epsilon$ [%]	poměrná pevnost $\sigma$ [N/tex]
čedičový roving	90,8	154,9	1,97	1,17
kevlarový roving	171,2	199	6,21	1,16



Obr. 16 Čedičový (vlevo) a kevlarový (vpravo) roving [13,14]

### 2.2.3 Hustota provázání, rozteč řádků a sloupků

Tyto hodnoty byly stanoveny jako počet sloupků a řádků na 100 mm. Byly určeny desetkrát pro řádky i sloupky, poté byly přepočítány na 1 m a vypočteny průměrné hodnoty. Dle vzorce (6) na str. 17 byla vypočítána celková hustota textilie. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3. Tato tabulka zároveň obsahuje průměrné hodnoty vypočítaných roztečí řádků a sloupců dle vzorců (7) a (8) na str. 18.

*Tab. 3 Základní parametry relaxované pleteniny*

*hustota sloupků  $H_s$ , a řádků  $H_r$ , celková hustota  $H_c$ , rozteč sloupků  $w$  a řádků  $c$*

	$H_s$ [ok/m]	$H_r$ [ok/m]	$H_c$ [ok/m <sup>2</sup> ]	$w$ [m]	$c$ [m]
čedič	760	780	592800	0,00132	0,00128
čedič / kevlar	800	920	736000	0,00125	0,00109

### 2.2.4 Spletení, stupeň spletení

Principem bylo vyparání nitě ze 100 mm textilie, uchopení nitě na koncích pomocí pinzet a změření její délky. Měření bylo provedeno desetkrát pro každý druh pleteniny. Z těchto dat byly vypočteny dle vzorců (13) na str. 20 a (14) na str. 20 průměrné hodnoty spletení a stupně spletení. Výsledné hodnoty jsou uvedené v Tab. 4.

*Tab. 4 Průměrné hodnoty spletení a stupně spletení*

	spletení $\epsilon_P$ [%]	stupeň spletení $K_P$ [-]
čedič	79,6	0,204
čedič / kevlar	84,2	0,158

### 2.2.5 Délka nitě v očku, koeficient hustoty

Díky struktuře pleteniny nebylo možné provést stanovení pomocí projekce nebo obrazové analýzy. Očka jsou z důvodu použití oboulíní vazby po relaxaci pleteniny postavena tak, že nelze přesně určit všechny jejich části popsané a zobrazené na Obr. 5 na str. 18. Byla tedy zvolena metoda přibližného stanovení, která spočívá

ve vypárání 10 oček pleteniny, změření délky vypárané nitě s následným přepočtem na délku jednoho oka. Výsledné průměrné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5. Zde jsou také uvedeny vypočtené koeficienty hustoty dle vzorce (11) na str. 19. K tomuto výpočtu musíme znát průměry přízí, ty byly stanoveny pomocí obrazové analýzy na systému Lucia.

*Tab. 5 Průměrné hodnoty délky nitě v oku, průměrů přízí a koeficient hustoty*

	délka nitě v oku $l_o$ [m]	průměr příze $d$ [mm]	koeficient hustoty $\delta$ [-]
čedič	0,00716	0,74	7,4
čedič / kevlar	0,00857	1,39	6,2

## 2.3 VÝROBA VZORKŮ

Výroba vzorků probíhala na mechanickém dvoulůžkovém pletacím stroji VebElite Diamant typ 54811 s dělením 7“E (pozn. dělení vyjadřuje počet jehel jednoho lůžka pletacího stoje na jeden anglický palec, který odpovídá 25,39954 mm). Parametry pro výrobu pleteniny jsou uvedeny v Tab. 3, str. 34. Materiálové složení a použité vazby pletenin jsou uvedeny v Tab. 6.

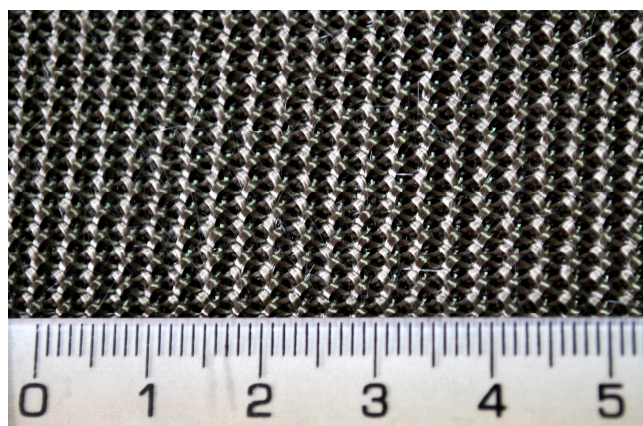
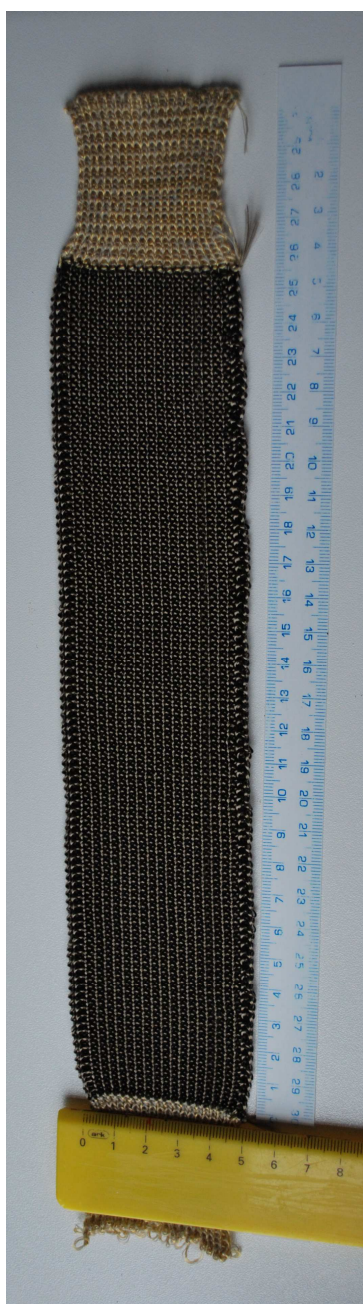
*Tab. 6 Použité materiály a vazba pro výrobu vzorků*

	čedič	kevlar	vazba
čedičová pleteniny	3 rovingy	-	zátažná oboulícní
čedičokevlarová pletenina	2 rovingy	1 roving	zátažná oboulícní

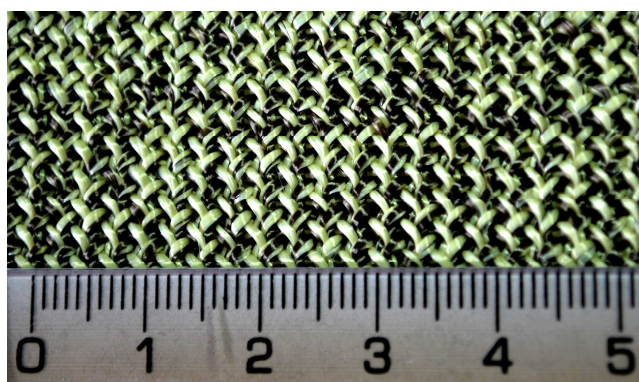
Výroba pletenin byla časově velice náročná. Tato náročnost plynula hlavně z použitých materiálů. Díky formě návínu, ve které jsou rovingy dodávány, bylo nezbytné neustále kontrolovat odvíjení, při kterém docházelo k vzájemnému zamotávání jednotlivých návínů. Také bylo nezbytné často čistit jehelní lůžka a saně pomocí štětečku, jelikož jsou tyto části pro hladký chod stroje ošetřovány mazacím olejem, a právě v něm ulpívaly odlámané částičky čedičových rovingů. Z důvodu usnadnění pletení byl každý vzorek započat i ukončen třiceti řadami pomocné zátažné

obouliční pleteniny z běžné textilní směsové příze, která byla později odstraněna.

Vzhledem k technickým možnostem pletacího stroje a množství dostupných materiálů bylo vyrobeno 10 vzorků o požadovaných výsledných rozměrech 5x25cm čedičové pleteniny a stejné množství vzorků o totožných rozměrech čedičokevlarové pleteniny. Bylo nutné nechat vzorky minimálně týden volně relaxovat.



*Obr. 17 Čedičová pletenina*



*Obr. 18 Čedičokevlarová pleteniny*

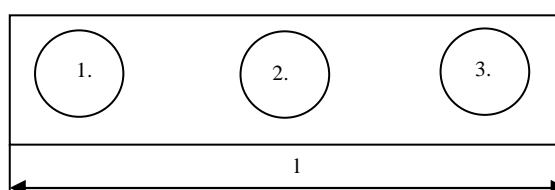
*Obr. 19 Zhotovený vzorek čedičové pleteniny*



## 2.4 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI PLETENINY

### 2.4.1 Tloušťka

Měření bylo provedeno na přístroji UNI-THICKNESS-METER FF27 při laboratorních podmínkách teplota  $t = 23^{\circ}\text{C}$ , vlhkost  $\varphi = 34\%$ , atmosférický tlak 98,26 kPa. Tloušťka byla zjišťována vždy na třech místech pro každý vzorek viz Obr. 20.



Obr. 20 Měření tloušťky

Dle norem platných pro tuto zkoušku ČSN EN ISO 5084 byly použity parametry:

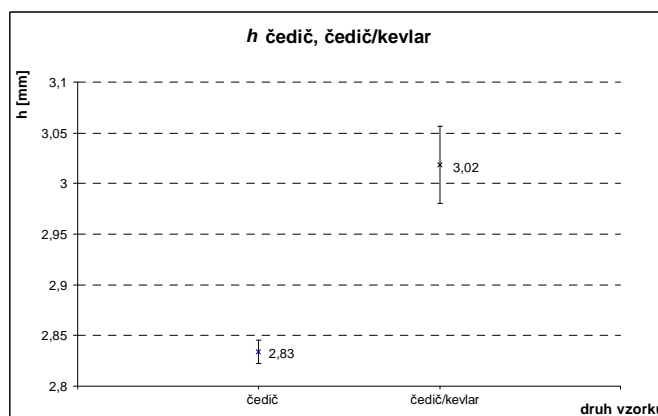
- doba měření 30 s
- tlak 1 kPa
- plocha čelisti 1000 mm<sup>2</sup>

Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a zobrazeny v grafech. Výsledné průměrné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 7. Grafické zobrazení viz Obr. 21 a Obr. 22. V příloze na CD jsou kompletní hodnoty výsledků měření viz Tab. A1, A2 a další grafické zpracování Obr. B1, B2.

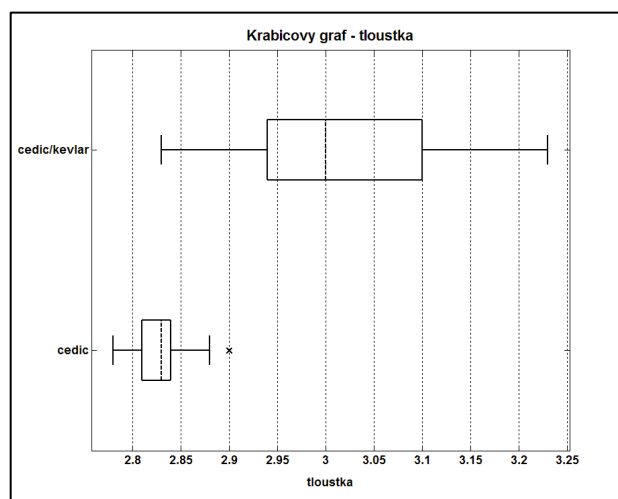
Tab. 7 Zpracování hodnot tloušťky

	čedič	čedič/kevlar
průměrná hodnota $\bar{h}$ [mm]	2,83	3,02
minimální hodnota $h_{min}$ [mm]	2,78	2,83
maximální hodnota $h_{max}$ [mm]	2,90	3,23
směrodatná odchylka $s$ [mm]	0,032	0,103
variační koeficient $v$ [%]	1,12	3,40
interval spolehlivosti $IS$ [mm]	< 2,82 - 2,85 >	< 2,98 - 3,06 >
medián $\tilde{h}$ [mm]	2,83	3,00





Obr. 21 Porovnávací graf tloušťky čedičové a čedičkevlarové pleteniny



Obr. 22 Krabicové grafy tloušťky

Z grafu na Obr. 21 lze vyčíst průměrné hodnoty tloušťek pletenin v závislosti na druhu pleteniny. Pro čedičovou pleteninu je tato hodnota 2,83 mm a čedičkevlarovou pleteninu 3,02 mm. Jsou zde také zobrazeny chybové úsečky měření, které jsou u čedičkevlarové pleteniny větší, což je způsobeno vícekomponentním složením vstupních rovingů a jejich vzájemným nepravidelným uspořádáním.

Z krabicovém grafu na Obr. 22 lze vyčíst hodnoty mediánu pro čedičovou pleteninu 2,83 mm a čedičkevlarovou pleteninu 3,00 mm. U čedičové pletniny byla maximální naměřená hodnota 2,90 mm označena za vybočující měření a hradba posunuta na nejbližší hodnotu 2,88 mm. Ostatní hodnoty hradeb odpovídají maximálním a minimálním hodnotám uvedeným v Tab. 7 na str. 36. U čedičové pleteniny jsou data mírně zešíklá směrem k vyšším hodnotám (hodnota mediánu

je posunuta směrem k horním kvartilu). U čedičo-kevlarové pleteniny jsou data mírně zešíkmena k nižším hodnotám (hodnota mediánu je posunuta k dolnímu kvartilu). Vzorek odpovídající hodnotě jako vybočující nebyl z dalšího zpracování vyloučen, jelikož na něm nebyly žádné viditelné odlišnosti.

## 2.4.2 Hmotnost

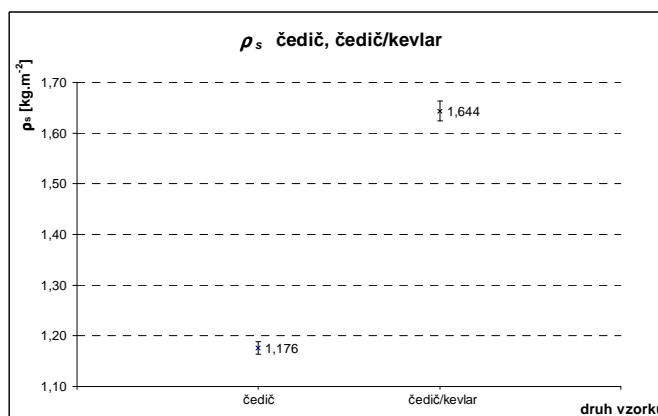
Hmotnost byla měřena na digitálních vahách SANTORIUS PRO 13/17/23/27T. U každého vzorku byly naměřeny jeho přesné rozměry, na vahách zjištěna jeho hmotnost a poté vypočítána plošná hmotnost dle vzorce (1) na str. 15 a objemová měrná hmotnost dle vzorce (2) na str.16. Vypočtené hodnoty byly statisticky zpracovány a zobrazeny v grafech. Výsledné průměrné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 8 a Tab. 9. Grafické zobrazení viz Obr. 23, Obr. 24, Obr. 25 a Obr. 26. V příloze na CD jsou kompletní hodnoty výsledků měření viz Tab. A3, A4 a další grafické zpracování Obr. B3, B4, B5, B6.

Tab. 8 Zpracování hodnot plošné hmotnosti

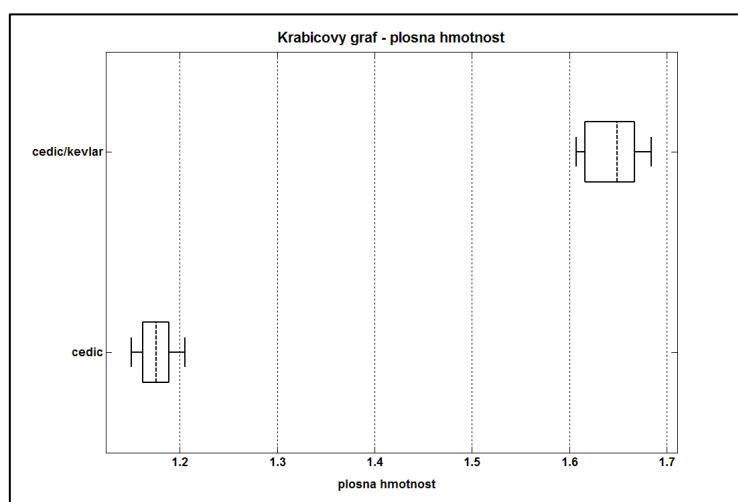
	čedič	čedič/kevlar
průměrná hodnota $\bar{\rho}_s [kg.m^{-2}]$	1,176	1,644
minimální hodnota $\rho_s [kg.m^{-2}]$	1,150	1,607
maximální hodnota $\rho_s [kg.m^{-2}]$	1,205	1,684
směrodatná odchylka $s [kg.m^{-2}]$	0,017	0,028
variační koeficient $v [\%]$	1,451	1,691
interval spolehlivosti $IS [kg.m^{-2}]$	< 1,164 – 1,188 >	< 1,624– 1,664 >
medián $\tilde{\rho}_s [kg.m^{-2}]$	1,176	1,6489

Tab. 9 Zpracování hodnot objemové hmotnosti

	čedič	čedič/kevlar
průměrná hodnota $\bar{\rho}_v [kg.m^{-3}]$	414,7	544,7
minimální hodnota $\rho_v [kg.m^{-3}]$	404,3	516,8
maximální hodnota $\rho_v [kg.m^{-3}]$	424,3	565,8
směrodatná odchylka $s [kg.m^{-3}]$	6,9	13,9
variační koeficient $v [\%]$	1,7	2,5
interval spolehlivosti $IS [kg.m^{-3}]$	< 409,8 – 419,6 >	< 534,8– 554,6 >
medián $\tilde{\rho}_v [kg.m^{-3}]$	416,2	545,2



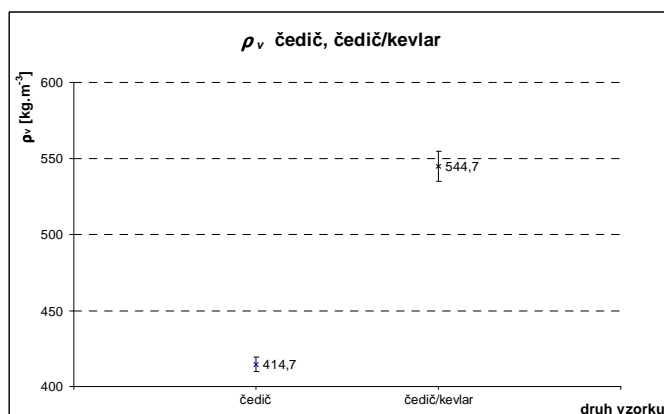
Obr. 23 Porovnávací graf plošné hmotnosti čedičové a čedičkevlarové pleteniny



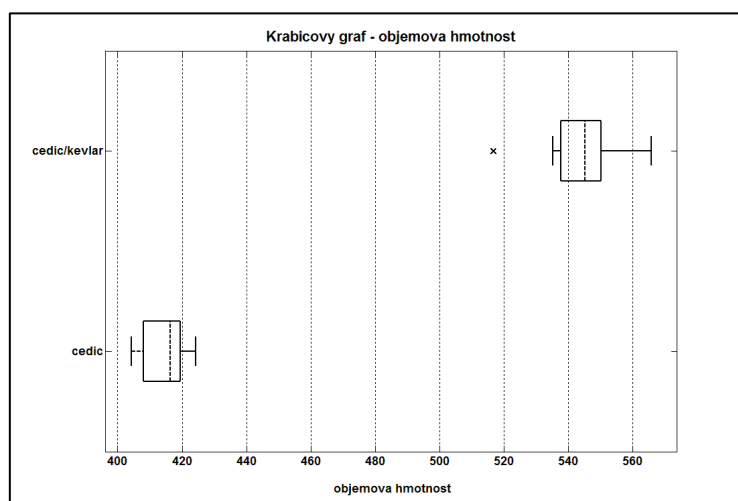
Obr. 24 Krabicové grafy plošné hmotnosti

Z grafu na Obr. 23 lze vyčíst průměrné hodnoty plošných hmotností pletenin v závislosti na druhu pleteniny. Pro čedičovou pleteninu je tato hodnota  $1,176 \text{ kg.m}^{-2}$  a čedičkevlarovou pleteninu  $1,644 \text{ kg.m}^{-2}$ . Jsou zde také zobrazeny chybové úsečky měření. U obou druhů pletenin je rozmezí intervalů spolehlivosti srovnatelné.

Z krabicovém grafu na Obr. 24 lze vyčíst hodnoty mediánu pro čedičovou pleteninu  $1,176 \text{ kg.m}^{-2}$  a čedičkevlarovou pleteninu  $1,649 \text{ kg.m}^{-2}$ . Hodnoty hradeb odpovídají maximálním a minimálním hodnotám uvedeným v Tab. 8 na str. 38. U čedičové pleteniny jsou data symetrická, i hodnota mediánu odpovídá průměrné naměřené hodnotě. U čedičkevlarové pleteniny jsou data mírně zešikmena k vyšším hodnotám (hodnota mediánu je posunuta k hornímu kvartilu).



Obr. 25 Porovnávací graf objemové hmotnosti čedičové a čedičokevlarové pleteniny



Obr. 26 Krabicové grafy objemové hmotnosti

Z grafu na Obr. 25 lze vyčíst průměrné hodnoty objemových hmotností pletenin v závislosti na druhu pleteniny. Pro čedičovou pleteninu je tato hodnota  $414,7 \text{ kg.m}^{-3}$  a čedičokevlarovou pleteninu  $544,7 \text{ kg.m}^{-3}$ . Jsou zde také zobrazeny chybové úsečky měření, které jsou u čedičokevlarové pleteniny větší, což je způsobeno zanesením chyb použitím hodnot tloušťky při výpočtu objemové hmotnosti

Z krabicovém grafu na Obr. 26 lze vyčíst hodnoty mediánu pro čedičovou pleteninu  $416,3 \text{ kg.m}^{-3}$  a čedičokevlarovou pleteninu  $545,2 \text{ kg.m}^{-3}$ . U čedičokevlarové pletniny byla minimální hodnota  $516,8 \text{ kg.m}^{-3}$  označena za vybočující měření a hradba posunuta na nejbližší hodnotu  $535,2 \text{ kg.m}^{-3}$ . Ostatní hodnoty hradeb odpovídají maximálním a minimálním hodnotám uvedeným v Tab. 9 na str. 38. U čedičové pleteniny jsou data mírně zešíklá směrem k vyšším hodnotám (hodnota mediánu

je posunuta směrem k horním kvartilu). U čedičo-kevlarové pleteniny jsou data mírně zešikmena k vyšším hodnotám (hodnota mediánu je posunuta směrem k hornímu kvartilu). Vzorek odpovídající hodnotě označené jako vybočující nebyl z dalšího zpracování vyloučen, jelikož na něm nebyly žádné viditelné odlišnosti.

### 2.4.3 Pórovitost

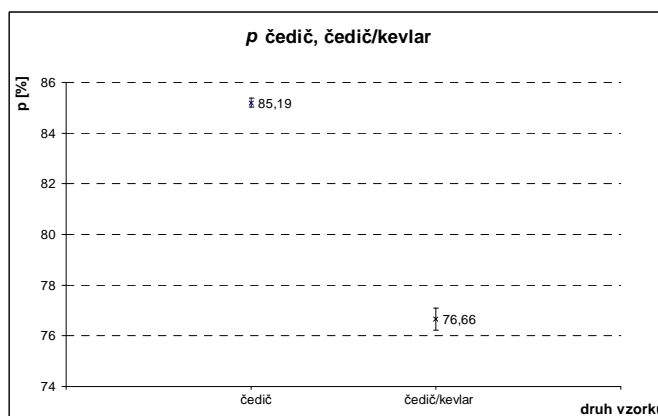
Pórovitost čedičové pleteniny byla vypočítána dle vztahu (3) na str. 16 pro jednokomponentní textilií. Pro výpočet pórovitosti čedičo-kevlarové pleteniny byl použit vzorec (5) na str. 17. U vícekomponentní pleteniny bylo nutné nejdříve stanovit obsahy jednotlivých komponent (rovingů), hodnoty jsou uvedeny v Tab. 10. Pomocí vzorce (4) na str. 17 byla vypočítána hustota směsi. Vypočtené hodnoty pórovitosti byly statisticky zpracovány a zobrazeny v grafech. Výsledné průměrné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 11. Grafické zobrazení viz Obr. 27 a Obr. 28. V příloze na CD jsou kompletní hodnoty výsledků měření viz Tab. A5 a další grafické zpracování Obr. B7, B8.

Tab. 10 Hodnoty obsahů jednotlivých komponent čedičo-kevlarové pleteniny

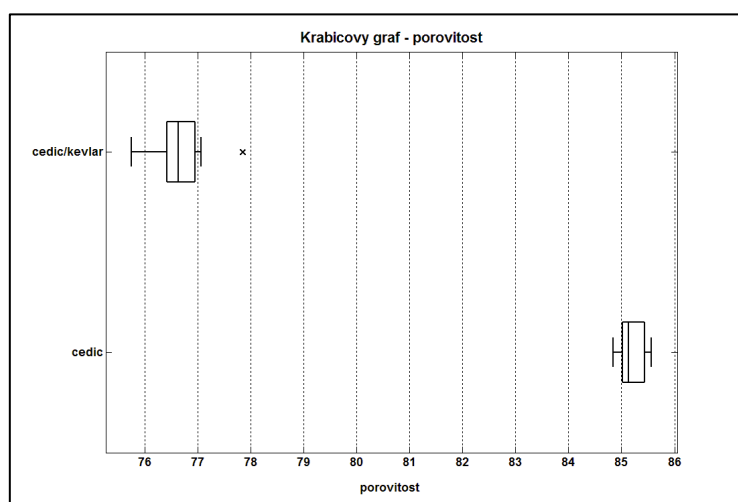
obsah čedičové komponenty	obsah kevlarové komponenty
66,67%	33,33%

Tab. 11 Zpracování hodnot pórovitosti čedičové a čedičo-kevlarové pleteniny

	čedič	čedič/kevlar
průměrná hodnota $\bar{p}$ [%]	85,19	76,66
minimální hodnota $p_{min}$ [%]	84,85	75,75
maximální hodnota $p_{max}$ [%]	85,56	77,85
směrodatná odchylka $s$ [%]	0,25	0,59
variační koeficient $v$ [%]	0,29	0,775
interval spolehlivosti $IS$ [%]	< 85,01 – 85,37 >	< 76,23 – 77,08 >
medián $\tilde{p}$ [%]	85,13	76,64



Obr. 27 Porovnací graf pórovitosti čedičové a čedičokevlarové pleteniny



Obr. 28 Krabicové grafy pórovitosti

Z grafu na Obr. 27 lze vyčíst průměrné hodnoty pórovitostí pletenin v závislosti na druhu pleteniny. Pro čedičovou pleteninu je tato hodnota 85,19% a čedičokevlarovou pleteninu 76,66%. Jsou zde také zobrazeny chybové úsečky měření, které jsou u čedičokevlarové pleteniny větší, což je způsobeno zanesením chyb použitím hodnot objemové hmotnosti při výpočtu pórovitosti.

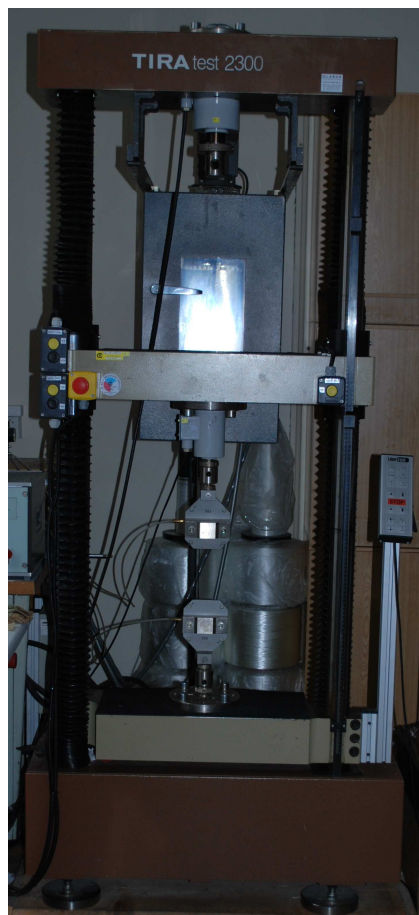
Z krabicovém grafu na Obr. 28 lze vyčíst hodnoty mediánu pro čedičovou pleteninu 85,19% a čedičokevlarovou pleteninu 76,64%. U čedičokevlarové pletniny byla maximální hodnota 77,85% označena za vybočující měření a hradba posunuta na nejbližší hodnotu 77,06%. Ostatní hodnoty hradeb odpovídají maximálním a minimálním hodnotám uvedeným v Tab. 11 na str. 41. U čedičové pleteniny jsou data mírně zešíklá směrem k nižším hodnotám (hodnota mediánu je posunuta směrem k dolnímu kvartilu). U čedičokevlarové pleteniny jsou data, po vyloučení jedné

hodnoty, téměř symetrická. Vzorek odpovídající hodnotě označené jako vybočující nebyl z dalšího zpracování vyloučen, jelikož na něm nebyly žádné viditelné odlišnosti.

## 2.5 PEVNOST V TAHU

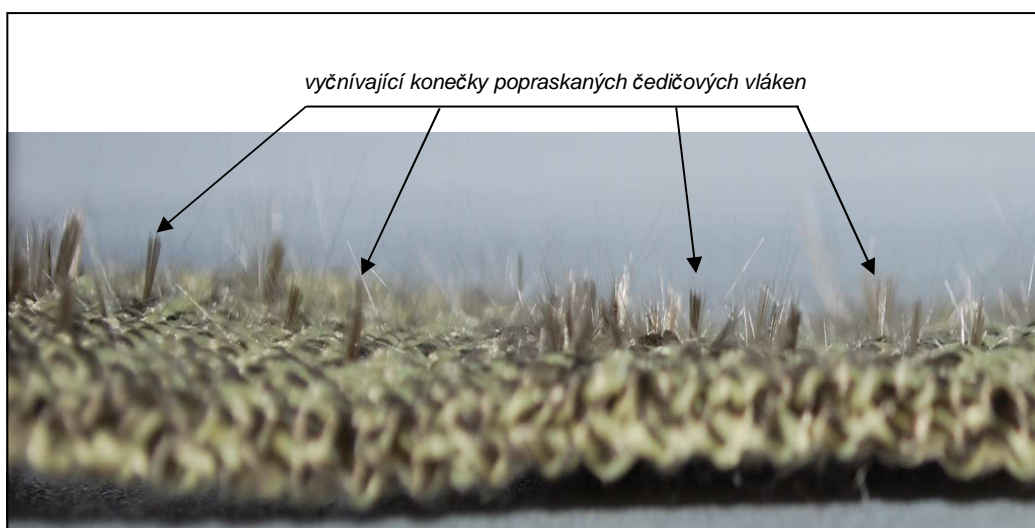
Pevnost v tahu byla testována na dynamometru TIRA test 2300. Zkoušky byly prováděny dle normy ČSN EN ISO 13934-1. Dle těchto norem bylo nastaveno:

- rozměry vzorku:  $a = h$  (tloušťka [mm]),  $b = 50$  mm
- profil vzorku – plochý
- počáteční délka (upínací délka)  $l_0 = 200$  mm
- síla pro předpětí  $F_0 = 0,1$  N
- rychlost posuvu  $v_l = 100$  mm/min



Obr. 29 Zkušební přístroj TIRA test 2300 (vlevo), upnutí zkoušeného vzorku (vpravo)

Pro tento test bylo použito 10 vzorků od každého druhu pleteniny. U obou materiálů docházelo k prokluzu v čelistech což je patrné i na deformačních křivkách. Byl testován i jeden náhradní vzorek kdy byl mezi čelisti a pleteninu z každé strany vložen smirkový papír. Tato metoda se neosvědčila – k prokluzům došlo při mnohem nižších hodnotách působící síly než při standardním upnutí. Prokluzování bylo menší u čedičové pleteniny, vyšší u čedičokevlarové pleteniny. U čedičokevlarové pleteniny docházelo k přetrhům až v místech narušených čelistmi, v některých případech až na hranici s pomocnou pleteninou. Dalším pozorovaným jevem bylo u čedičokevlarových pletenin výrazné narušování čedičového rovingu a jeho vyčnívání ze vzorků viz Obr. 30.



*Obr. 30 Vyčnívající koncečky popraskaného čedičového rovingu v čedičokevlarové pletenině*

Výstupními hodnotami z této zkoušky byly:

- $F_{max}$  [N] = maximální síla
- $A_{max}$  [mm] = tažnost při  $F_{max}$
- $E$  [MPa] = modul pružnosti

Současně byl vytvořen grafický záznam zkoušek a statistické vyhodnocení.

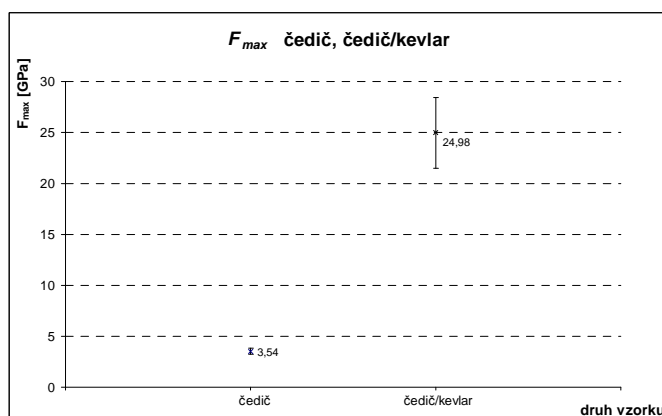


## 2.5.1 Pevnost v tahu

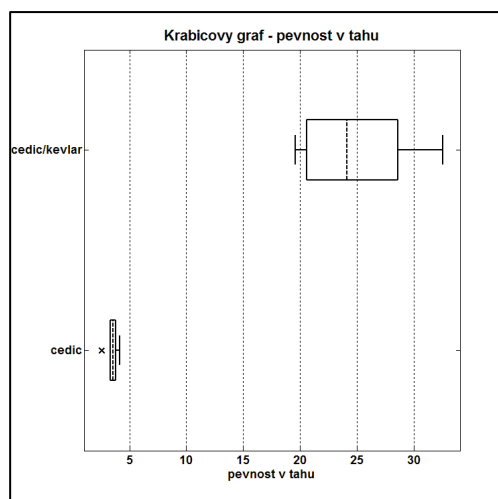
Pro lepší porovnání byla maximální síla přepočtena pomocí průřezu vzorku na jednotky Pascal. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a zobrazeny v grafech. Výsledné průměrné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 12. Grafické zobrazení viz Obr. 31 a Obr. 32. V příloze na CD jsou kompletní hodnoty výsledků měření viz Tab. A6 a další grafické zpracování Obr. B9, B10.

Tab. 12 Zpracování hodnot poměrné pevnosti čedičové a čedičokevlarové pleteniny

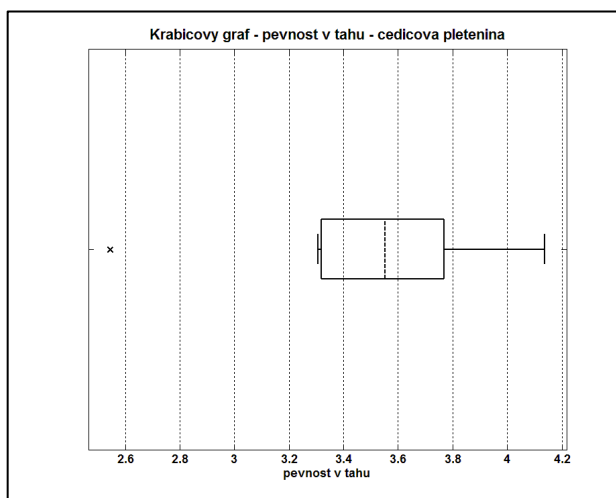
	čedič	čedič/kevlar
průměrná hodnota $\bar{F}_{\max}$ [GPa]	3,54	24,98
minimální hodnota $F_{\max_{\min}}$ [GPa]	2,54	19,58
maximální hodnota $F_{\max_{\max}}$ [GPa]	4,14	32,59
směrodatná odchylka $s$ [GPa]	0,45	4,88
variační koeficient $v$ [%]	12,76	19,54
interval spolehlivosti $IS$ [GPa]	< 3,22 – 3,86 >	< 21,49 – 28,47 >
medián $\tilde{F}_{\max}$ [GPa]	3,55	24,14



Obr. 31 Porovnávací graf pevnosti v tahu čedičové a čedičokevlarové pleteniny



Obr. 32 Krabicové grafy pevnosti v tahu



Obr. 33 Krabicový graf pevnosti v tahu čedičové pleteniny

Z grafu na Obr. 31 lze vyčíst průměrné hodnoty pevností v tahu pletenin v závislosti na druhu pleteniny. Pro čedičovou pleteninu je tato hodnota 3,54 GPa a čedičokevlarovou pleteninu 24,94 GPa. Jsou zde také zobrazeny chybové úsečky měření, které jsou u čedičokevlarové pleteniny výrazně větší, což je způsobeno prokluzem pleteniny v čelistech dynamometru.

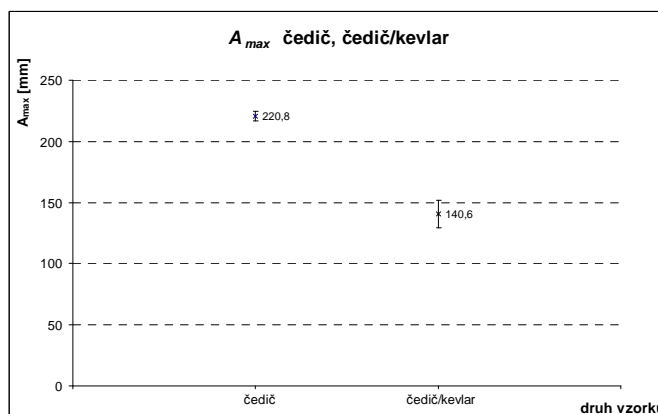
Na Obr. 32 je krabicový graf čedičové pleteniny velice špatně čitelný, proto je vyobrazen na Obr. 33 jeho detail. Z grafů lze vyčíst hodnoty mediánu pro čedičovou pleteninu 3,55 GPa a čedičokevlarovou pleteninu 24,14 GPa. U čedičové pleteniny byla minimální hodnota 2,54 GPa označena za vybočující měření a hradba posunuta na nejbližší hodnotu 3,31 GPa. Ostatní hodnoty hradeb odpovídají maximálním a minimálním hodnotám uvedeným v Tab. 12 na str. 45. U čedičové pleteniny jsou data, po vyloučení vybočující hodnoty téměř symetrická. U čedičokevlarové pleteniny jsou data mírně zešikmena k nižším hodnotám (hodnota mediánu je posunuta směrem k dolnímu kvartilu). Vzorek odpovídající hodnotě označené jako vybočující nebyl z dalšího zpracování vyloučen, jelikož na něm nebyly žádné viditelné odlišnosti.

## 2.5.2 Tažnost

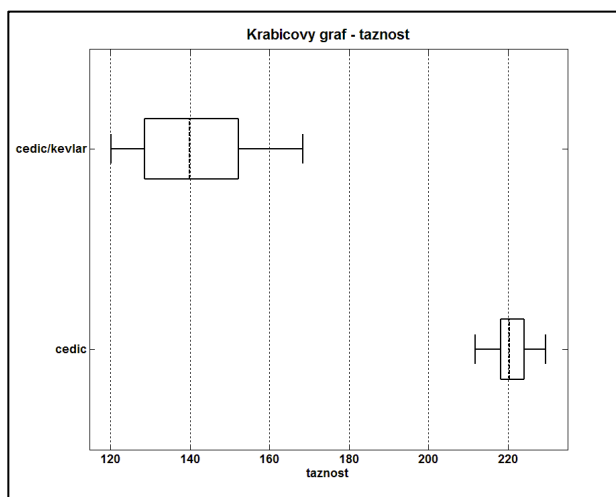
Tažností  $A_{max}$  [mm] je zde označeno prodloužení vzorku při maximální síle  $F_{max}$ . Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a zobrazeny v grafech. Výsledné průměrné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 13. Grafické zobrazení viz Obr. 34 a Obr. 35. V příloze na CD jsou kompletní hodnoty výsledků měření viz Tab. A7 a další grafické zpracování Obr. B11, B12

Tab. 13 Zpracování hodnot tažnosti čedičové a čedičokevlarové pleteniny

	čedič	čedič/kevlar
průměrná hodnota $\bar{A}_{max}$ [mm]	220,8	140,6
minimální hodnota $A_{max,min}$ [mm]	211,8	120,1
maximální hodnota $A_{max,max}$ [mm]	229,5	168,3
směrodatná odchylka $s$ [mm]	5,3	15,7
variační koeficient $v$ [%]	2,4	11,2
interval spolehlivosti $IS$ [mm]	< 217,0 – 224,6 >	< 129,4 – 151,8 >
medián $\tilde{A}_{max}$ [mm]	220,3	139,9



Obr. 34 Porovnávací graf tažnosti čedičové a čedičokevlarové pleteniny



Obr. 35 Krabicové grafy tažnosti

Z grafu na Obr. 34 lze vyčíst průměrné hodnoty tažností pletenin v závislosti na druhu pleteniny. Pro čedičovou pleteninu je tato hodnota 220,8 mm a čedičokevlarovou pleteninu 140,6 mm. Jsou zde také zobrazeny chybové úsečky měření, které jsou u čedičokevlarové pleteniny větší, což je způsobeno prokluzem pleteniny v čelistech dynamometru.

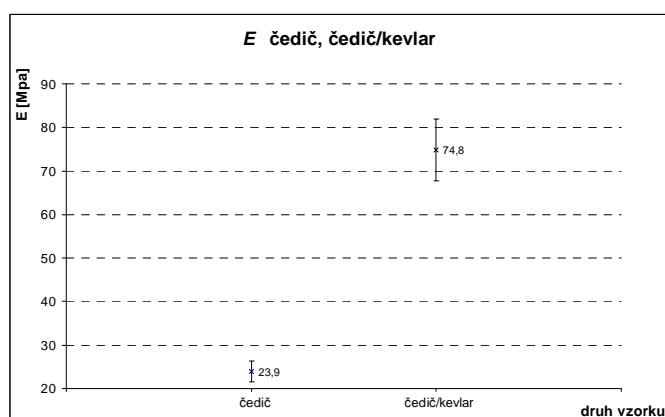
Z krabicovém grafu na Obr. 35 lze vyčíst hodnoty mediánu pro čedičovou pleteninu 220,3 mm a čedičokevlarovou pleteninu 139,9 mm. Hodnoty hradeb odpovídají maximálním a minimálním hodnotám uvedeným v Tab. 13 na str. 47. U čedičové i čedičokevlarové pleteniny jsou data téměř symetrická

### 2.5.3 Modul pružnosti

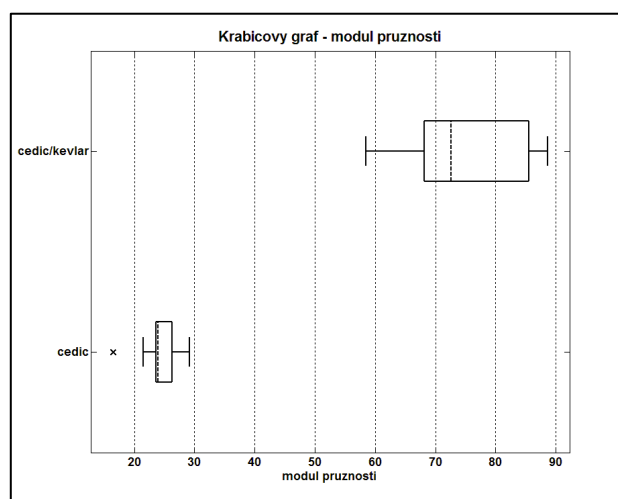
Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a zobrazeny v grafech. Výsledné průměrné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 14. Grafické zobrazení viz Obr. 36 a Obr. 37. V příloze na CD jsou kompletní hodnoty výsledků měření viz Tab. A8 a další grafické zpracování Obr. B139, B14

*Tab. 14 Zpracování hodnot modulu pružnosti čedičové čedičokevlarové pleteniny*

	čedič	čedič/kevlar
průměrná hodnota $\bar{E}$ [MPa]	23,9	74,8
minimální hodnota $E_{min}$ [MPa]	16,5	58,5
maximální hodnota $E_{max}$ [MPa]	29,2	88,6
směrodatná odchylka $s$ [MPa]	3,3	10,0
variační koeficient $v$ [%]	14,0	13,3
interval spolehlivosti $IS$ [MPa]	< 21,5 – 26,3 >	< 67,7 – 81,9 >
medián $\tilde{E}$ [MPa]	23,9	72,6



Obr. 36 Porovnávací graf modulu pružnosti čedičové a čedičkevlarové pleteniny



Obr. 37 Krabicové grafy modulu pružnosti

Z grafu na Obr. 36 lze vyčíst průměrné hodnoty modulů pružnosti pletenin v závislosti na druhu pleteniny. Pro čedičovou pleteninu je tato hodnota 23,9 MPa a čedičkevlarovou pleteninu 74,8 MPa. Jsou zde také zobrazeny chybové úsečky měření, které jsou u čedičkevlarové pleteniny výrazně větší, což je způsobeno prokluzem pleteniny v čelistech dynamometru.

Z krabicovém grafu na Obr. 37 lze vyčíst hodnoty mediánu pro čedičovou pleteninu 23,9 MPa a čedičkevlarovou pleteninu 72,6 MPa. U čedičové pleteniny byla minimální hodnota 16,5 MPa označena za vybočující měření a hradba posunuta na nejbližší hodnotu 21,49 MPa. Ostatní hodnoty hradeb odpovídají maximálním a minimálním hodnotám uvedeným v Tab. 14 na str. 49. U čedičové pleteniny jsou data,

po vyloučení vybočující hodnoty výrazně zešikmena k nižším hodnotám (hodnota mediánu je posunuta směrem k dolnímu kvartilu). U čedičokevlarové pleteniny jsou data zešikmena k nižším hodnotám (hodnota mediánu je posunuta směrem k dolnímu kvartilu). Vzorek odpovídající hodnotě označené jako vybočující nebyl z dalšího zpracování vyloučen, jelikož na něm nebyly žádné viditelné odlišnosti.

### 3. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pleteniny pro tuto práci byly zhotoveny ve dvou variantách. Čedičová pletenina byla vyrobena ze tří čedičových rovingů a čedičokevlarová pletenina ze dvou čedičových a jednoho kevlarového rovingu.

V Tab. 15 je shrnutí naměřených a vypočtených průměrných hodnot pro oba druhy pletenin. Je zde také graficky naznačen směr změny hodnot, která je způsobena přidáním kevlaru do pleteniny. Značka ↗ označuje zvýšení a značka ↘ snížení hodnot.

Tab. 15 Souhrn naměřených a vypočtených hodnot

	průměrná hodnota pro čedičovou pleteninu	směr změny hodnot přidáním kevlaru do pleteniny	průměrná hodnota pro čedičokevlarovou pleteninu
tloušťka $h$ [mm]	2,83	↗	3,02
plošná hmotnost $\rho_s$ [kg.m <sup>-2</sup> ]	1,176	↗	1,644
objemová hmotnost $\rho_v$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	414,7	↗	544,7
pórovitost $p$ [%]	85,19	↘	76,66
pevnost v tahu $F$ [GPa]	3,54	↗	24,98
tažnost $A$ [mm]	220,8	↘	140,6
modul pružnosti $E$ [MPa]	23,9	↗	74,8

U hodnot tloušťky dochází k jejich zvýšení přidáním kevlaru do pleteniny. Potvrzuje to předpokládané výsledky. Průměr rovingů, ze kterých byla vyrobena čedičokevlarová pletenina, byl větší než průměr rovingů z nichž byla vyrobena čedičová pletenina.

Plošná i objemová hmotnost se přidáním kevlarového rovingu do pleteniny zvýší. Tyto výsledky odpovídají odhadům vycházejícím z vlastností stupních materiálů, tedy jemností  $T$  [tex] rovingů (hodnoty viz. Tab. 2 na str. 33). Jemnost udává hmotnost materiálu v gramech na jeden kilometr jeho délky. Kevlarový roving má hodnotu



jemnosti téměř o polovinu větší než je jemnost čedičového rovingu.

Hodnoty pórovitosti odpovídají textiliím vyrobeným metodou pletení. Čím je menší kontakt mezi propletenými rovingy i samotnými vlákny, tím se hodnoty pórovitosti zvyšují. Nahrazením jednoho čedičového rovingu kevlarovým rovingem dochází k lepšímu vytvarování materiálu v jednotlivých očkách pleteniny. Díky tomu je u čedičokevlarové pleteniny vyšší hustota provázání a v kombinaci s větším průměrem čedičokevlarového rovingu jsou hodnoty pórovitosti nižší než u čedičové pleteniny.

Výsledné hodnoty pevnosti v tahu jsou u pleteniny s kevlarom vyšší. Odpovídá to výsledkům předpokládaným na základě znalosti vlastností vstupních materiálů. Obecně má kevlar vyšší pevnost než čedič, proto i pletenina vytvořená přidáním kevlaru má vyšší pevnost.

Výsledná tažnost čedičokevlarové pleteniny je menší než čedičové pleteniny, což lze předvídat již z výsledků pórovitosti. Přidáním kevlaru do pleteniny vzniká pevnější struktura.

Modul pružnosti je nižší u čedičové pleteniny, protože je čedičová pletenina pružnější a má větší tažnost. Tyto hodnoty bylo možné odhadnout při pohledu na tahové křivky, které jsou u čedičokevlarové pleteniny výrazně strmější.

Při výrobě čedičových i čedičokevlarových pletenin vzniká řada problémů. Prvním je odvíjení čedičového rovingu, jelikož je dodáván v křížovém návínu bez cívky. S ubývajícími náviny dochází k borcení stěn a vzájemnému zaplétání jednotlivých ovinů. K borcení stěn také přispívá diskontinualita odběru příze při pletení na ploché pletací stroje. Tento problém je způsoben zastavením saní s pletacími zámky na každé straně pleteniny a jejich zpětnému pohybu. V mém případě byly tyto problémy řešeny asistencí Ing. Jitky Sitteové při pletení. Je ovšem dosti neefektivní, aby jedna osoba pletla pleteninu a druhá kontrolovala odvíjení rovingů. Řešením by bylo převinutí na vhodnější formu návínu. Se samotným převíjením mohou být spojeny problémy vzhledem ke křehkosti čedičových rovingů. Dalším problémem při výrobě vzorků je samotné pletení, kdy klasické ploché pletací stroje, které jsou na dostupné na TUL, nejsou uzpůsobeny k pletení z materiálu jako je čedič či kevlar. Čedičové rovingy jsou náchylné na lámání jednotlivých vláken, které může být způsobováno průchodem přes jednotlivé části stroje (vodící očka, brzdy, atd.). Odlámané části vláken zanáší všechny části pletacího stroje a je nezbytné časté čištění.

Další problémy se projevily při testování pevnosti v tahu. Výsledky mechanických testů jsou ovlivněny prokluzem materiálu v čelistech dynamometru při zatížení silou. K prokluzu docházelo u obou druhů pleteniny. Při testování čedičokevlarové pleteniny byly prokluzu větší. U těchto vzorků docházelo k přetržení pleteniny až v místě prokluzu, kde se struktura částečně narušila hrubým povrchem čelistí. U některých vzorků došlo k přetrhu až v místě spojení vzorku s pomocnou pleteninou. Prokluzu pletenin v čelistech lze pozorovat na tahových křivkách jednotlivých vzorků, které jsou umístěny v příloze na CD. Konstrukce čelistí není uzpůsobena k testování takovýchto druhů materiálů. Tomuto jevu by šlo zabránit konstrukcí přídavného zařízení, které by se dalo připevnit k dynamometru. Tento přípravek by měl být kulatého nebo oválného tvaru, aby jeho hrany nenarušovaly strukturu pleteniny. Musí být zároveň možné materiál na něj navinout a upevnit.

Pro řešení všech výše uvedených problémů by mohla být navržena další témata závěrečných prací.

## 4. ZÁVĚR

Tato práce se zabývala základním rozбором pletenin s obsahem čedičových vláken a testováním jejich tahových vlastností. Zkoumané pleteniny jsou využívány jako výztuže kompozitů např. v rámci dlouhodobých projektů výzkumu kompozitních struktur na Katedře textilních materiálů.

Pro určování vlastností pletenin byly použity kalibrované přístroje (analytické váhy, tloušťkoměr, dynamometr) a dodrženy podmínky stanovené v normách příslušných k jednotlivým zkouškám.

Při zkoumání struktury pleteniny byl řešen problém s nesoudržností struktury po jejím narušení, například stříháním. Výsledkem bylo pletení vzorků konkrétních rozměrů pro testování pevnosti v tahu. Z důvodu technických možností použitého pletacího stroje není možné vytvářet vzorky o velikosti pouze několika centimetrů nebo tvarované. Celková příprava vzorků je velice časově náročná a to nejen z hlediska komplikací při samotném pletení. Po sejmutí vzorku ze stroje je nezbytné nechat pleteninu volně relaxovat. Doba relaxace je minimálně týden. Pokud by se tento krok vynechal, zbytky vnitřní deformační energie by značně ovlivnily výsledky testů.

V průběhu testování pevnosti v tahu se projevil problém vlivu upínacích čelistí dynamometru na testovaný materiál. Důvodem zmíněných problémů je, že čelisti jsou konstruovány pouze pro testování běžných textilních materiálů. V diskuzi k výsledkům této práce byl navrhnut možný směr řešení tohoto problému.

Vytyčené cíle této práce byly splněny. Byly provedeny základní rozbor pletenin a zjištěny jejich tahové charakteristiky. Vlastnosti čedičových pletenin se výrazně mění přidáním jiného materiálu a tím se rozšiřuje možnost použití těchto pletenin do různých technických produktů. V případě této bakalářské práce mělo přidání kevlaru do čedičové pleteniny nejvýznamnější vliv na zvýšení pevnosti celé pleteniny v tahu.

## Literatura

- [1] Kovář, R.: Pletení, Technická univerzita v Liberci, 1997
- [2] Dostalová, M., Křivánková, M.: Základy textilní a oděvní výroby, Technická univerzita v Liberci, 2004
- [3] Kovačič, V.: Textilní zkušebnictví I. II., Technická univerzita v Liberci, 2004
- [4] galerie fotografií, dostupné na [http://fotky.hln.cz/kamenicky-senov/img\\_3650](http://fotky.hln.cz/kamenicky-senov/img_3650)
- [5] Militký, J.: presentace k předmětu Speciální vlákna, Liberec 2005, dostupná na [https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list\\_pre.cgi?predmet=233&skripta=29&pro=](https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list_pre.cgi?predmet=233&skripta=29&pro=) (aktuální k 13.11.2010)
- [6] Lehner, J.: Skleněná, horninová a strusková vlákna, SNTL Praha 1960
- [7] Militký, J.: Textilní vlákna : klasická a speciální, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002
- [8] Basalt Fiber & Composite Materials Technology Development Co., dostupné na <http://www.basaltfm.com/eng/fiber/technology.html> (aktuální k 5.3.2011)
- [9] Tomková, B.: Přednášky z předmětu Kompozity s textilní výztuží, dostupné na [https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list\\_pre.cgi?predmet=65&skripta=44&pro=](https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list_pre.cgi?predmet=65&skripta=44&pro=) (aktuální k 4.1.2011)
- [10] společnost Basaltex a.s., dostupné na [http://www.basaltex.cz/cedic/cedic\\_charakteristika\\_cz.htm](http://www.basaltex.cz/cedic/cedic_charakteristika_cz.htm) (aktuální k 3.3.2011)
- [11] bezpečnostní list firmy Du Pont pro Kevlar, dostupný na [http://msds.dupont.com/msds/pdfs/EN/PEN\\_09004a35803a3be9.pdf](http://msds.dupont.com/msds/pdfs/EN/PEN_09004a35803a3be9.pdf) (aktuální k 18.3.2011)
- [12] Meloun, M., Militký, J.: Statistické zpracování experimentálních dat PLUS Praha 1994
- [13] firma Kamenny vek, dostupné na <http://www.basfiber.com/> (aktuální k datu 20.3.2011)
- [14] firma Du Pont, dostupné na [http://www2.dupont.com/Kevlar/en\\_US/products/fibers/fiber.html](http://www2.dupont.com/Kevlar/en_US/products/fibers/fiber.html) (aktuální k datu 20.3.2011)

## Seznam obrázků

Obr. 1 Základní strukturální prvky pletenin [1].....	12
Obr. 2 Základní vazby zátažných pletenin [1, 2].....	13
Obr. 3 Jednolícní pletenina s přímým kladením- řetízek [2] .....	14
Obr. 4 Osnovní oboulícní pletenina [2] .....	14
Obr. 5 Délka oka pleteniny. [3].....	18
Obr. 6 Čedičové „varhany“ u Kamenického Šenova [4] .....	21
Obr. 7 Schéma výroby čedičových vláken [8].....	22
Obr. 8 Lomová plocha čedičového vlákna .....	23
Obr. 9 Strukturální vzorec Kevlaru [7] .....	24
Obr. 10 Schéma výroby kevlarových vláken (metoda „dry-jet-wet“) [7] .....	24
Obr. 11 Deformační křivka [3] .....	28
Obr. 12 Konstrukce tečny k deformační křivce v jejím počátku [3] .....	30
Obr. 13 Deformační práce [3].....	30
Obr. 14 Destrukce struktury pleteniny po mechanickém zásahu (stříhání).....	31
Obr. 15 Zátažná oboulícní pletenina [1] .....	33
Obr. 16 Čedičový (vlevo) a kevlarový (vpravo) roving [13,14].....	33
Obr. 17 Čedičová pletenina .....	36
Obr. 18 Čedičokevlarová pleteniny .....	36
Obr. 19 Zhotovený vzorek čedičové pleteniny .....	36
Obr. 20 Měření tloušťky .....	37
Obr. 21 Porovnávací graf tloušťky čedičové a čedičokevlarové pleteniny .....	38
Obr. 22 Krabicové grafy tloušťky.....	38
Obr. 23 Porovnávací graf plošné hmotnosti čedičové a čedičokevlarové pleteniny .....	40
Obr. 24 Krabicové grafy plošné hmotnosti.....	40
Obr. 25 Porovnávací graf objemové hmotnosti čedičové a čedičokevlarové pleteniny .....	41
Obr. 26 Krabicové grafy objemové hmotnosti .....	41
Obr. 27 Porovnávací graf pórovitosti čedičové a čedičokevlarové pleteniny .....	43
Obr. 28 Krabicové grafy pórovitosti.....	43
Obr. 29 Zkušební přístroj TIRA test 2300 (vlevo), upnutí zkoušeného vzorku (vpravo) .....	44

Obr. 30 Vyčnívající konečky popraskaného čedičového rovingu v čedičo-kevlarové pletenině .....	45
Obr. 31 Porovnávací graf pevnosti v tahu čedičové a čedičo-kevlarové pleteniny .....	47
Obr. 32 Krabicové grafy pevnosti v tahu.....	47
Obr. 33 Krabicový graf pevnosti v tahu čedičové pleteniny .....	47
Obr. 34 Porovnávací graf tažnosti čedičové a čedičo-kevlarové pleteniny .....	49
Obr. 35 Krabicové grafy tažnosti.....	49
Obr. 36 Porovnávací graf modulu pružnosti čedičové a čedičo-kevlarové pleteniny.....	51
Obr. 37 Krabicové grafy modulu pružnosti .....	51

## Seznam tabulek

Tab. 1 Vlastnosti kevlarových a čedičových vláken [5, 6, 7,9].....	26
Tab. 2 Informace o materiálech od výrobce .....	33
Tab. 3 Základní parametry relaxované pleteniny .....	34
Tab. 4 Průměrné hodnoty spletení a stupně spletení .....	34
Tab. 5 Průměrné hodnoty délky nitě v očku, průměrů přízí a koeficient hustoty .....	35
Tab. 6 Použité materiály a vazba pro výrobu vzorků .....	35
Tab. 7 Zpracování hodnot tloušťky .....	37
Tab. 8 Zpracování hodnot plošné hmotnosti .....	39
Tab. 9 Zpracování hodnot objemové hmotnosti .....	39
Tab. 10 Hodnoty obsahů jednotlivých komponent čedičo-kevlarové pleteniny.....	42
Tab. 11 Zpracování hodnot pórovitosti čedičové a čedičo-kevlarové pleteniny .....	42
Tab. 12 Zpracování hodnot poměrné pevnosti čedičové a čedičo-kevlarové pleteniny ..	46
Tab. 13 Zpracování hodnot tažnosti čedičové a čedičo-kevlarové pleteniny .....	48
Tab. 14 Zpracování hodnot modulu pružnosti čedičové čedičo-kevlarové pleteniny .....	50
Tab. 15 Souhrn naměřených a vypočtených hodnot.....	53

## Seznam příloh

### A - Tabulky

Tab. A1 Hodnoty tloušťky čedičové pleteniny

Tab. A2 Hodnoty tloušťky čedičokevlarové pleteniny

Tab. A3 Rozměry a hmotnosti vzorků čedičové pleteniny

Tab. A4 Rozměry a hmotnosti vzorků čedičokevlarové pleteniny

Tab. A5 Pórovitost čedičové a čedičokevlarové pleteniny

Tab. A6 Pevnost v tahu čedičové a čedičokevlarové pleteniny

Tab. A7 Tažnost čedičové a čedičokevlarové pleteniny

Tab. A8 Modul pružnosti čedičové a čedičokevlarové pleteniny

### B - Obrázky - grafy

Obr. B1 Graf dat tloušťky čedičové pleteniny

Obr. B2 Graf dat tloušťky čedičokevlarové pleteniny

Obr. B3 Graf dat plošné hmotnosti čedičové pleteniny

Obr. B4 Graf dat plošné hmotnosti čedičokevlarové pleteniny

Obr. B5 Graf dat objemové měrné hmotnosti čedičové pleteniny

Obr. B6 Graf dat objemové měrné hmotnosti čedičokevlarové pleteniny

Obr. B7 Graf dat pórovitosti čedičové pleteniny

Obr. B8 Graf dat pórovitosti čedičokevlarové pleteniny

Obr. B9 Graf dat pevnosti v tahu čedičové pleteniny

Obr. B10 Graf dat pevnosti v tahu čedičokevlarové pletniny

Obr. B11 Graf dat tažnosti čedičové pleteniny

Obr. B12 Graf dat tažnosti čedičokevlarové pleteniny

Obr. B13 Graf dat modulu pružnosti čedičové pleteniny

Obr. B14 Graf dat modulu pružnosti čedičokevlarové pleteniny

Obr. B15 Tahová křivka čedičové pleteniny vzorek č. 1.

Obr. B16 Tahová křivka čedičové pleteniny vzorek č. 2.

Obr. B17 Tahová křivka čedičové pleteniny vzorek č. 3.

Obr. B18 Tahová křivka čedičové pleteniny vzorek č. 4.

- Obr. B19 Tahová křivka čedičové pleteniny vzorek č. 5.  
Obr. B20 Tahová křivka čedičové pleteniny vzorek č. 6.  
Obr. B21 Tahová křivka čedičové pleteniny vzorek č. 7.  
Obr. B22 Tahová křivka čedičové pleteniny vzorek č. 8.  
Obr. B23 Tahová křivka čedičové pleteniny vzorek č. 9.  
Obr. B24 Tahová křivka čedičové pleteniny vzorek č. 10.  
Obr. B25 Tahová křivka čedičokevlarové pleteniny vzorek č. 1.  
Obr. B26 Tahová křivka čedičokevlarové pleteniny vzorek č. 2.  
Obr. B27 Tahová křivka čedičokevlarové pleteniny vzorek č. 3.  
Obr. B28 Tahová křivka čedičokevlarové pleteniny vzorek č. 4.  
Obr. B29 Tahová křivka čedičokevlarové pleteniny vzorek č. 5.  
Obr. B30 Tahová křivka čedičokevlarové pleteniny vzorek č. 6.  
Obr. B31 Tahová křivka čedičokevlarové pleteniny vzorek č. 7.  
Obr. B32 Tahová křivka čedičokevlarové pleteniny vzorek č. 8.  
Obr. B33 Tahová křivka čedičokevlarové pleteniny vzorek č. 9.  
Obr. B34 Tahová křivka čedičokevlarové pleteniny vzorek č. 10.